

REVESTIMENTO DE FACHADAS COM PAINÉIS DE PETRAMIX

Estudo de caso: Paris Balard

ANDRÉ FERREIRA FERNANDES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria

JUNHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miiec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais,

*A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio
conhecimento*

Platão

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todas as pessoas que contribuíram não só para o desenvolvimento desta dissertação, como para o meu desenvolvimento pessoal enquanto futuro Mestre em Engenharia Civil.

Começo por dirigir uma palavra de agradecimento aos meus pais, sobretudo à minha mãe. Sem eles, não seria possível o meu percurso académico. Foram eles os pilares tanto da minha formação profissional, como pessoal.

Ao Professor Doutor Amorim Faria, agradeço pelo apoio e disponibilidade prestados na realização deste trabalho e também por ter sido ao longo de todo o curso um professor preocupado com o futuro dos seus alunos, partilhando experiências adquiridas ao longo da sua vida como Engenheiro.

Aos meus amigos Engenheiros, agradeço todo o apoio nos momentos marcantes da minha formação, pela companhia em longos dias de estudo, por estarem sempre presentes, em especial, ao Frederico Martins, ao Vitor Monteiro, ao João Alves, ao João Bacelar, ao Diogo Margarido e ao Luís Pires.

Agradeço também à Stonemix e a todos os intervenientes que estiveram disponíveis para me apoiar e que possibilitaram a realização desta dissertação em ambiente empresarial, nomeadamente, ao Manuel Sousa, ao Arlindo Sousa, ao José Sousa, ao José Costa e ao Engenheiro Hichem Bouchnak.

À minha namorada, Joana Sousa, agradeço todo o apoio e contribuição para esta dissertação e sobretudo por me mostrar como na vida podemos com esforço dar sempre um pouco mais de nós e ultrapassar os limites da exaustão para realizar o que queremos.

Por fim, a todos aqueles que não foram mencionados, mas que de alguma forma contribuíram para aquilo que sou hoje, e por isso não são esquecidos, o meu muito obrigado.

RESUMO

A presente dissertação surge com o objetivo de elaborar um estudo de soluções presentes no mercado Francês para sistemas de fachada ventilada em que se permite uma liberdade de conceção, ao nível do revestimento, superior às soluções mais comuns quer em França, quer em Portugal.

Nos últimos anos tem-se vindo a assistir, sobretudo em França, a um desenvolvimento deste tipo de soluções, principalmente as soluções vocacionadas para a utilização do GRC e materiais semelhantes. Em Portugal as soluções existentes no mercado ainda são inferiores em termos tecnológicos relativamente àquelas encontradas no mercado francês. Assim, este trabalho é realizado com o intuito de estudar soluções presentes neste mercado, que possam definir bases que sirvam de guia ao desenvolvimento futuro destes produtos em Portugal.

Com este trabalho é realizado o estudo do caso de uma obra para o ministério da defesa francês em que se utiliza um destes materiais: o Petramix. São descritas todas as fases do fornecimento e aplicação da solução, desde o projeto até à fase final da obra. É também feita uma avaliação do desempenho deste produto e a caracterização do sistema em que se insere: a fachada ventilada.

PALAVRAS-CHAVE: GRC, Fibras de vidro, Fachada ventilada, Estudo de caso, Benchmarking, Avaliação de desempenho.

ABSTRACT

The current dissertation comes with the intention of performing a study on present solutions in the French market for ventilated façade systems in which there's a superior freedom of design, in terms of cladding, when compared to common solutions both in France and in Portugal.

In recent years, we have been witnessing, mostly in France, a development of such solutions, especially solutions focused on the use of GRC and similar materials. The existing solutions in Portugal are still lower in technological terms to those found in the French market. With this in mind, this work is performed in order to study solutions available in this market, which can set bases that can serve as guidelines for the future development of these products in Portugal.

This work is carried out along with a case study of a construction for the ministry of French defense which uses one of these materials: the Petramix. A description of the stages since the project till the final stage of construction is made. It's also made an evaluation of the performance of this product and the description of the system in which it operates: the ventilated façade.

KEYWORDS: GRC, Glass fiber, Ventilated façade, Case study, Benchmarking, Performance evaluation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO E JUSTIFICAÇÃO	1
1.2. BASES DO TRABALHO	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
1.4. ENQUADRAMENTO EMPRESARIAL	2
2. ESTUDO DE MERCADO	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. SISTEMAS DE FIXAÇÃO	5
2.2.1. Fixação por estrutura secundária	5
2.2.2. Fixação direta	7
2.3. PAINÉIS DE REVESTIMENTO DE FACHADAS E ELEMENTOS DECORATIVOS	9
2.3.1. Rieder Smart Elements GmbH	9
2.3.2. Betsinor Composites	15
2.3.3. Novidis	20
2.3.4. Partner Engineering	23
3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EM PETRAMIX	29
3.1. INTRODUÇÃO	29
3.2. NOÇÕES SOBRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS	29
3.2.1. Abordagem funcional	29
3.2.2. Abordagem celular	30
3.3. FACHADAS LEVES	31
3.3.1. Definição	31
3.3.2. Classificação	32
3.4. DEFINIÇÃO GERAL DO SISTEMA	32
3.4.1. Características dos painéis	33

3.4.2. Características do sistema de fixação	37
3.4.3. Juntas e tolerâncias	40
3.5. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA	43
3.5.1. Vantagens funcionais	43
3.5.2. Vantagens da pré-fabricação	44
3.5.3. Vantagens relacionadas com a conceção	44
3.5.4. Vantagens económicas	44
 4. FABRICO E MONTAGEM DE COMPONENTES	 45
4.1. INTRODUÇÃO	45
4.2. PROCESSO DE PRODUÇÃO	45
4.3. ESCOLHA E RECEÇÃO DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO	52
4.4. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO	52
 5. AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DO DESEMPENHO	 53
5.1. INTRODUÇÃO	53
5.2. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO	53
5.2.1. Documentação de referência	53
5.2.2. Definição das exigências	53
5.2.3. Classificação reVETIR	64
5.3. NORMAS APLICÁVEIS AOS ELEMENTOS E MATERIAIS CONSTITUINTES	67
5.4. NORMAS APLICÁVEIS AO SISTEMA	69
5.5. FABRICAÇÃO	71
5.6. ENSAIOS DE CONTROLO	71
 6. ESTUDO DE CASO	 73
6.1. INTRODUÇÃO	73
6.2. RECEÇÃO DA OBRA E PROJETO	75
6.2.1. Determinação do nº de painéis	78
6.2.2. Escolha do modelo de patas mecânicas	80
6.3. FABRICO DOS COMPONENTES	82
6.4. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO	83
6.4.1. Situações especiais	83

6.4.2. Aspeto final	84
6.5. COMPROVAÇÃO DA QUALIDADE.....	86
6.5.1. Normas a respeitar	86
6.5.2. Ensaios	86
6.5.3. Durabilidade.....	92
6.5.4. Comportamento térmico.....	93
7. CONCLUSÕES.....	97
7.1. RESULTADOS OBTIDOS. CONCLUSÕES.....	97
7.2. PROPOSTAS DE MELHORIA PARA A EMPRESA	97
7.3. PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
REFERÊNCIA DE FIGURAS	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Elementos decorativos em Petramix	3
Figura 2.1 - Sistema de fixação Rapid 850	6
Figura 2.2 - Gancho deslizante de fixação do painel de revestimento	6
Figura 2.3 - Sistema de fixação de perfis fixos	7
Figura 2.4 - Exemplos de patas mecânicas	8
Figura 2.5 - Exemplo de perno de varão nervurado	8
Figura 2.6 - Esquadros de fixação	9
Figura 2.7 - Estrutura de apoio secundária para sistema de fixação oculta	10
Figura 2.8 - Estrutura de apoio secundária para sistema de fixação visível	10
Figura 2.9 - Residência privada, Mödling.....	12
Figura 2.10 - Universidade da Califórnia, Berkley.....	12
Figura 2.11 - Soccer City Stadium, Johannesburg	13
Figura 2.12 - Centro de exposições, Suissbau	13
Figura 2.13 - Space Pavilion, Londres	14
Figura 2.14 - Sistema de fixação fibreC 3D	14
Figura 2.15 - Edifício Saukonranta, Helsínquia.....	15
Figura 2.16 - Eurostars Book Hotel, Munique	15
Figura 2.17 - Processo de injeção MATIV	16
Figura 2.18 - Centro de pesquisas, Grenoble	16
Figura 2.19 - Sede Bouyges Imobiliária, Issy les Moulineaux	17
Figura 2.20 - Crèche, Paris	18
Figura 2.21 - Hotel Hilton - Arco do triunfo, Paris	18
Figura 2.22 - Terminal de Autocarros, Thiais	19
Figura 2.23 - Centro comunitário, Sedan – França.....	20
Figura 2.24 - Moldagem do NOVIDIS Premix (molde de borracha em cofragem de madeira)	21
Figura 2.25 - Fixação dos painéis de revestimento	21
Figura 2.26 - Fixação de elemento decorativo	22
Figura 2.27 - Fachada com revestimento NOVIDIS Premix, Versailles.....	22
Figura 2.28 - Painel artístico para revestimento interior	23
Figura 2.29 - Demonstração da fixação de painel de revestimento exterior	23
Figura 2.30 - Elementos decorativos em NOVIDIS Premix	23
Figura 2.31 - Esquadros metálicos de fixação superior e inferior.....	24
Figura 2.32 - Pormenor de fixação dos painéis	25

Figura 2.33 - Renovação de edifício, Paris	25
Figura 2.34 - Edifício residencial, Paris	26
Figura 2.35 - Painéis para obra de centro oncológico, Amiens – França	26
Figura 2.36 - Edifício Swatch, Reino Unido	27
Figura 3.1 - Decomposição do edifício segundo a abordagem celular.	30
Figura 3.2 - Esquema de corte de uma fachada leve. Adaptado de	32
Figura 3.3 - Painéis de pequena dimensão.....	34
Figura 3.4 - Painéis com textura xistosa	34
Figura 3.5 - Pannel de acabamento artístico.....	35
Figura 3.6 - Painéis de revestimento.....	35
Figura 3.7 - Pannel para obra em Cachan, França	36
Figura 3.8 - Pannel de obra em Paris, França.....	36
Figura 3.9 - Esquema do sistema de fixação do tipo pata mecânica.....	37
Figura 3.10 - Bucha metálica para fixação em betão	38
Figura 3.11 - Bucha de manga plástica para fixação em alvenarias e zonas de junta	38
Figura 3.12 - Etapa 1: Colocação da bucha de fixação	39
Figura 3.13 - Etapa 2: Regulação da pata mecânica	39
Figura 3.14 - Etapa 3: Colocação do pannel	39
Figura 3.15 - Junta de dilatação	40
Figura 3.16 - Orientação das juntas. Adaptado de.....	40
Figura 3.17 - Afastamento na junta entre painéis.	41
Figura 3.18 - Pormenor da fixação no interior dos painéis de revestimento.....	41
Figura 3.19 - desvios de posicionamento de painéis no plano da fachada	43
Figura 3.20 - desvios de posicionamento na secção transversal dos painéis no plano da fachada	43
Figura 4.1 – Misturadora industrial.	46
Figura 4.2 - Adição de argamassa de cimento (à esquerda) e fibra de vidro (à direita).	46
Figura 4.3 - Aspeto da argamassa antes da sua aplicação	47
Figura 4.4 - Enchimento da peça de gesso com borracha.....	47
Figura 4.5 - Molde de borracha após polvilhação de talco.....	48
Figura 4.6 - Acabamento do pannel Petramix	48
Figura 4.7 - Enchimento dos moldes com Petramix.....	49
Figura 4.8 - Remoção do excesso de argamassa.....	49
Figura 4.9 - Peças em repouso durante a cura.	50
Figura 4.10 - Exemplo de defeito causado pelo enchimento do molde.	51
Figura 4.11 - Armazenamento dos painéis em paletes.....	51

Figura 5.1 - Diagrama tensão-deformação do GRC, à flexão e tração	55
Figura 5.2 - Energia de choque (em Joules) segundo os índices Q e T.....	56
Figura 5.3 - Exemplo de junta fechada. Adaptado de.....	70
Figura 5.4 - Repartição das cargas. Adaptado de	70
Figura 6.1 - Complexo de edifícios Balard (Parcelle Valin)	73
Figura 6.2 - Complexo Balard	74
Figura 6.3 - Localização do edifício H (a vermelho) na Parcelle Victor	75
Figura 6.4 - Disposição em planta das fachadas do edifício H.....	75
Figura 6.5 - Malha de 24 painéis Petramix	76
Figura 6.6 - Encaixe de 5 malhas de 24 painéis.....	76
Figura 6.7 - Fachada protótipo	77
Figura 6.8 - Modelo da peça 1 da matriz de painéis.....	77
Figura 6.9 - Fachada 1	78
Figura 6.10 - Pormenor da fachada 1	78
Figura 6.11 - Divisão da fachada	79
Figura 6.12 - conjunto tipo A	79
Figura 6.13 - Cargas e deformada estrutural da pata mecânica (modelo indicado).....	81
Figura 6.14 - Painéis protótipo	82
Figura 6.15 - Fixação do isolamento (à esquerda) e reposição das secções recortadas (à direita)	83
Figura 6.16 - Pormenor da interseção do revestimento com o sistema de envidraçado.....	84
Figura 6.17 - Tratamento em zona de convergência de fachadas	84
Figura 6.18 - Aspeto final da fachada	85
Figura 6.19 - Aspeto final da fachada	85
Figura 6.20 - Aspeto final da fachada	85
Figura 6.21 - Resultados de ensaio <i>pull-off</i>	87
Figura 6.22 - Esquema de ensaio <i>pull-out</i>	87
Figura 6.23 - Resultados de ensaio de resistência à flexão	88
Figura 6.24 - Resultados de ensaio de resistência à compressão	89
Figura 6.25 - Esquema e exemplo de ensaio	89
Figura 6.26 - Resultados de ensaio de resistência aos choques	90
Figura 6.27 - Esquema e exemplo de ensaio	90
Figura 6.28 - Resultados ensaio de carga concentrada	91
Figura 6.29 - Fissuração no ponto de fixação.....	91
Figura 6.30 - Esquema do ensaio	92
Figura 6.31 - Padrão de rotura nas amostras ensaiadas.....	92

Figura 6.32 - Resultados do ensaio de resistência na zona de fixação	93
Figura 6.33 - Elementos a considerar para cálculo térmico	94

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Características físicas e mecânicas dos painéis fibreC	11
Quadro 2.2 - Cargas admissíveis para o Girec V	17
Quadro 3.1 - Componentes da envolvente exterior [1]	30
Quadro 3.2 - Tolerâncias de fabrico estabelecidas por PCI e DTU 22.1	42
Quadro 3.3 - Tolerâncias de montagem estabelecidas por PCI	42
Quadro 6.1 – Exigências segundo categorias.	53
Quadro 6.2 - Conversão da classificação ao fogo	57
Quadro 6.3 - Índices mínimos de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado	59
Quadro 6.4 - Níveis de pressão e depressão em Pascal	66
Quadro 6.5 - Classes de exposição ambiental [33]	68
Quadro 7.1 - Painéis necessários para a fachada 1	80
Quadro 7.2 - Número de painéis para a totalidade das fachadas	80
Quadro 7.3 - Modelos e cargas das patas mecânicas Europofix	81
Quadro 7.4 - Descrição da fachada	94

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

$D_{2m, n, w}$ – Isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado

τ_m – Fator de transmissão sonora médio

τ_i – Fator de transmissão sonora de uma parcela

S_i – Área um elemento

m_i – Massa de um elemento (kg/m²)

R_i – Índice de isolamento sonoro de um elemento (dB)

U – Coeficiente de transmissão térmica [W/m².°C];

R_{si} – Resistência térmica superficial interior [(m².°C)/W];

R_j – Resistência térmica da camada j [(m².°C)/W];

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior [(m².°C)/W].

GRC – Glassfibre Reinforced Concrete

DTU – Document Technique Unifié

PME – Pequena e média empresa

CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

EN – European Standard

NF – Norme Française

AR – Alcáli-resistente

IBO - Institut für Baubiologie und-ökologie

BFUP – Béton Fibré à Ultra-hautes Performances

ISO - International Organization for Standardization

UEATc - Union Européene pour l'Agrément Technique dans la Construction

1

INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVO E JUSTIFICAÇÃO

A fachada de um edifício apresenta-se atualmente como um elemento essencial na sua composição, quer pela função primária de proteção do edifício do ambiente exterior, quer pelo impacto que provoca na identidade estética e funcional do edifício e também pelos cuidados e custos que a sua execução implica.

No setor da construção Francês, tem-se observado nos últimos anos um grande investimento no desenvolvimento de soluções de fachadas leves. Com o desenvolvimento do GRC têm-se aberto oportunidades no contexto da liberdade arquitetónica e desempenho funcional dos edifícios que até aqui eram limitadas com a utilização de outros materiais mais comuns. Graças à evolução do GRC foram-se desenvolvendo produtos inovadores de composição semelhante, havendo no mercado Francês uma grande aposta nestes produtos.

Esta dissertação tem assim como objetivo elaborar um estudo de soluções presentes no mercado Francês para sistemas de fachada ventilada em que se permite uma liberdade de conceção, ao nível do revestimento, superior às soluções mais comuns quer em França, quer em Portugal.

Uma vez que o material a ser estudado neste trabalho é, tal como outros semelhantes, considerado inovador, existe uma grande lacuna na definição de normas com vista à certificação da qualidade e desempenho. Assim, com o estudo de um caso prático e com base em outros produtos existentes na europa, pretende-se também nesta dissertação introduzir procedimentos quer de produção, quer de avaliação da qualidade, de maneira a que este trabalho possa ser uma referência para a futura introdução no mercado Português de soluções semelhantes.

É de salientar que o aprofundamento sobre o tema desenvolvido não seria possível caso este trabalho não fosse realizado num ambiente empresarial. A inserção neste meio permitiu a recolha de informação de difícil acesso, bem como a obtenção de experiência em lidar com obstáculos que são impostos a um fabricante desta área quando se pretende expandir num mercado estrangeiro.

1.2. BASES DO TRABALHO

O trabalho realizado nesta dissertação tem por base uma forte componente normativa tanto francesa como europeia, Sendo que as DTUs (códigos de construção – regras da arte francesas) são de grande importância para o enquadramento do Petramix no mercado francês.

Foi ainda realizada uma vasta pesquisa de empresas e produtos franceses de vertente inovadora, sendo que embora relativamente pequeno, o mercado nesta área é altamente competitivo.

De maneira a fazer uma caracterização tecnológica e exigencial do sistema foi reunida informação de diversos artigos científicos e de trabalhos académicos.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A organização desta dissertação segue uma lógica de referenciação sequencial. Pretende-se com um capítulo definir elementos de referência para o capítulo seguinte e assim sucessivamente.

No presente capítulo é feita uma introdução ao trabalho realizado e uma síntese do conteúdo da dissertação, fazendo também uma apresentação da empresa em que se realizou o trabalho.

No capítulo 2 pretende-se apresentar uma análise do mercado francês, focada em soluções inovadoras que permitem uma liberdade de arquitetura moderna. Pretende-se ainda referenciar normas e procedimentos utilizados por empresas que têm produtos de concorrência ao Petramix, podendo servir como guia de desenvolvimento deste produto ou de produtos futuros.

No capítulo 3 tem-se como objetivo aprofundar a componente tecnológica do sistema em que se insere o Petramix. É caracterizado o sistema construtivo com foco nos painéis de revestimento e o respetivo sistema de fixação. Apresentam-se ainda as vantagens de que se pode tirar partido ao recorrer a este tipo de solução.

No capítulo 4 são descritas as etapas de produção dos painéis Petramix, fazendo referência às vantagens da produção em série. No fundo, pretende-se mostrar o que acontece entre a fase de projeto e a fase em que os materiais são recebidos na obra, já prontos para serem aplicados.

No capítulo 5 é apresentada a regulamentação de referência para este tipo de produtos, dividindo aquela que é aplicável especificamente ao produto e a que se aplica ao sistema construtivo. É ainda definido como é que se pode classificar um sistema tendo em conta o seu desempenho. É também feita a avaliação da conformidade com as normas e do desempenho do Petramix. É de salientar que dada a componente de inovação deste produto, a caracterização normativa enquadra-se em vários materiais cujo desempenho se verifica ser semelhante.

O estudo de caso é realizado no capítulo 6, onde se abordam todas as fases da obra em que a Stonemix atua, desde o momento de adjudicação até à entrega da obra. São também apresentados neste capítulo os resultados de ensaios que se enquadram na avaliação do desempenho do Petramix.

Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as principais conclusões obtidas deste trabalho. É também apresentado um conjunto de propostas de melhoria para a empresa e o desenvolvimento do Petramix, assim como possíveis desenvolvimentos futuros de investigação que se possa basear neste trabalho.

1.4. ENQUADRAMENTO EMPRESARIAL

Como já foi referido, esta dissertação foi inserida num ambiente empresarial. A empresa que acolheu este trabalho formal foi a Stonemix S.A. A Stonemix é uma PME Portuguesa especializada na produção de painéis de revestimento e elementos decorativos, cujo objetivo é o mercado Francês.

Sendo a Stonemix apenas vocacionada para a produção em fábrica, existe a necessidade de uma complementação a nível da engenharia e comercialização. É aqui que entra a S.P.I. – Stone & Pedra Installation, uma empresa sediada em França cujos sócios integram também a Stonemix. A S.P.I. é responsável pela preparação em fase de projeto e, após produção dos elementos em Petramix e transporte destes pela Stonemix, é responsável pela montagem dos mesmos em obra, em França.

No capítulo 3.4.1 apresentam-se alguns exemplos das soluções de painéis de revestimento comercializados pela Stonemix. Na figura seguinte apresentam-se também dois exemplos de soluções para elementos decorativos.

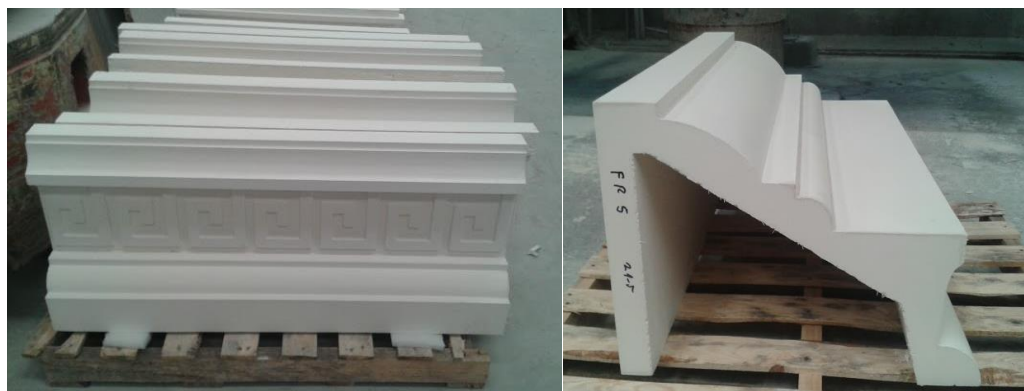


Figura 1.1 - Elementos decorativos em Petramix

Como se poderá constatar ao longo deste trabalho, a grande característica do Petramix é a possibilidade de produzir elementos com variadas formas e acabamentos, quer sejam painéis de revestimento ou elementos decorativos.

2

ESTUDO DE MERCADO

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é realizado um estudo do mercado dos painéis comercializados de GRC e produtos semelhantes com principal foco para os que permitem uma maior liberdade de criação arquitetónica. No fundo, pretende-se não só caracterizar o estado da arte e apresentar soluções que à partida serão concorrência, mas também modelos que podem servir de guia (em termos técnicos e regulamentares), à Stonemix e ao produto produzido pela mesma, o Petramix.

Este capítulo estende-se ainda aos sistemas de fixação utilizados nos sistemas de fachada leve e também em elementos decorativos.

Este estudo tem como base o mercado francês e eventualmente algumas soluções existentes em Portugal ou noutros países europeus.

2.2. SISTEMAS DE FIXAÇÃO

Neste tipo de revestimento, os sistemas de fixação utilizados podem-se diferenciar, essencialmente, em sistemas de fixação direta e sistemas secundários de fixação. Os sistemas de fixação direta são concebidos através de um pequeno acessório que suporta o painel de revestimento à parede de apoio, enquanto que os sistemas secundários de fixação funcionam como uma estrutura secundária de suporte, apresentando maior complexidade. Existem também sistemas de fixação visível e de fixação oculta, sendo o fator de diferenciação entre os dois maioritariamente estético, não sendo por isso aspeto de relevância neste subcapítulo.

Uma vez que este trabalho é voltado para o mercado Francês, é também importante referir que em França todos os sistemas de fixação, quer sejam comercializados juntamente com o revestimento ou não, devem possuir um documento *Avis Technique* – documento que certifica a performance de um sistema ou elemento construtivo face a um conjunto de normas regulamentares – próprio.

2.2.1. FIXAÇÃO POR ESTRUTURA SECUNDÁRIA

Neste tipo de fixação podemos ainda distinguir dois géneros: sistemas reguláveis e sistemas fixos.

a) **Sistemas reguláveis**

Estes sistemas são os mais complexos, uma vez que permitem a regulação horizontal dos pontos de fixação devido à sua estrutura que é composta por um grande número de peças metálicas. Um exemplo é o modelo Rapid 850 fabricado pela empresa alemã NFT-SL Fassadentechnik.

Este sistema, em aço inoxidável é geralmente fixado à parede de suporte através de parafuso com bucha metálica. Por sua vez, um esquadro metálico suporta a estrutura secundária que é composta por uma calha vertical fixa a uma calha horizontal (figura 2.1). Esta calha horizontal permite a colocação de ganchos deslizáveis que irão suportar o painel de revestimento (figura 2.2).

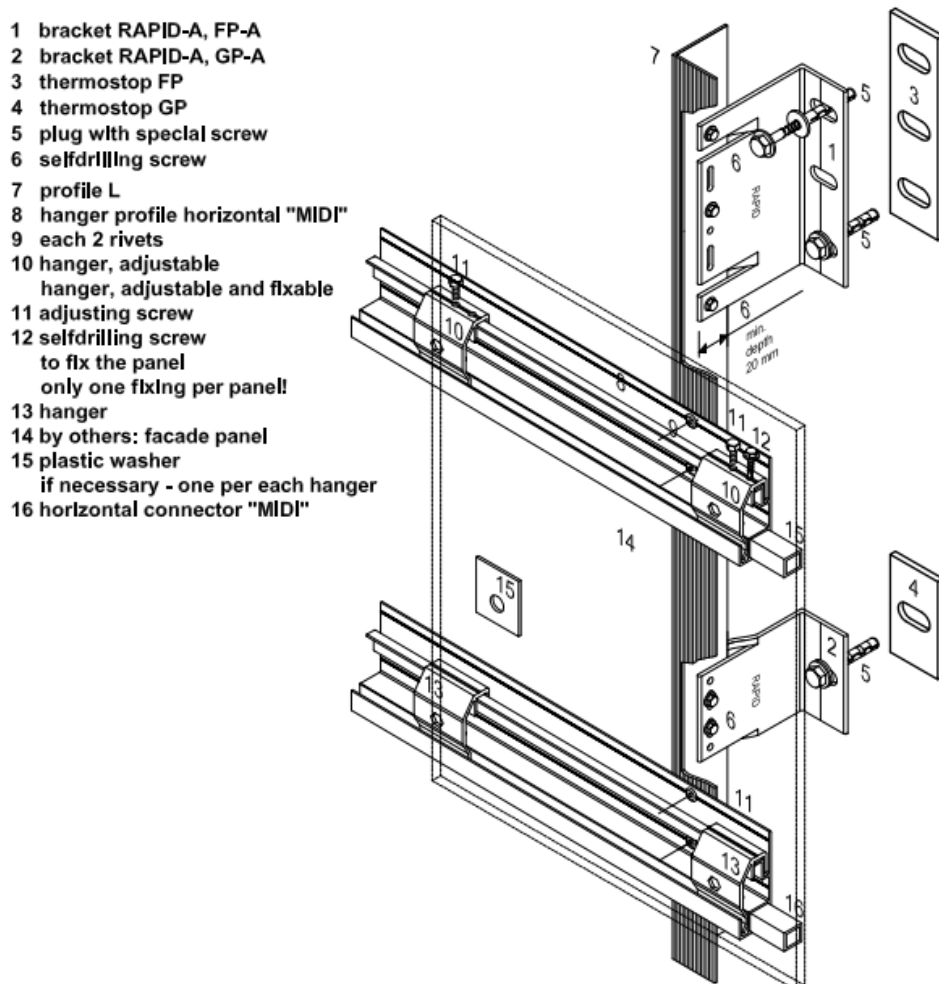


Figura 2.1 - Sistema de fixação Rapid 850 [1]

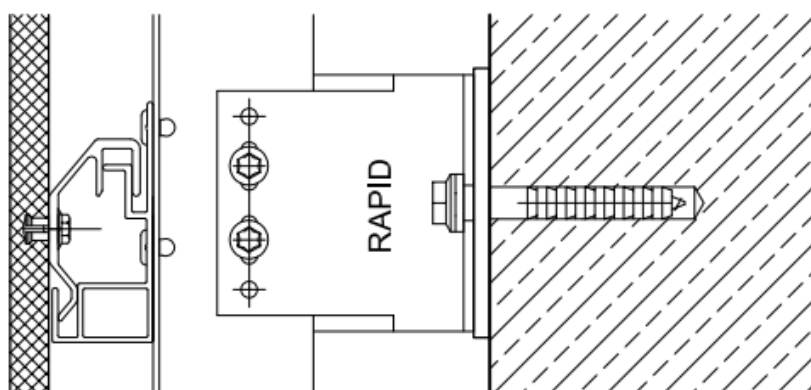


Figura 2.2 - Gancho deslizante de fixação do painel de revestimento [1]

Este sistema é relativamente frágil e por isso é indicado para painéis em GRC de menor dimensão, sendo também muito utilizado para painéis cerâmicos.

b) Sistemas fixos

Geralmente este tipo de sistema consiste numa peça de fixação (esquadro metálico ou outra) e num perfil metálico em “T” ou em cantoneira onde são fixados os painéis de revestimento.

Para este tipo de sistemas há duas empresas de referência no mercado Francês. Uma é a já referida NFT-SL Fassadentechnik e outra é a belga Rockpanel.

O sistema típico tem a seguinte configuração:

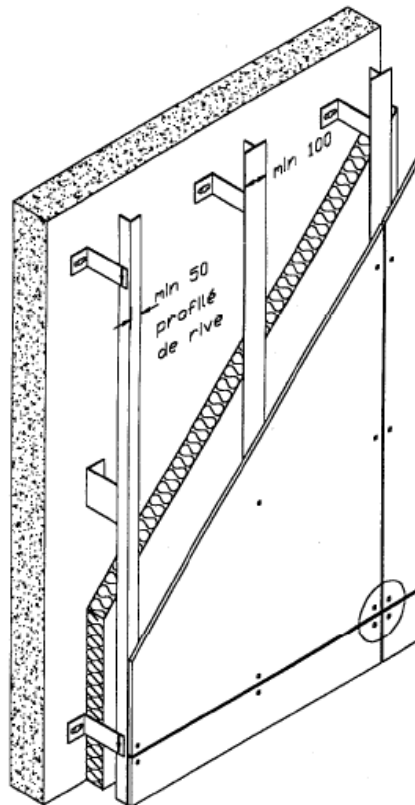


Figura 2.3 - Sistema de fixação de perfis fixos [2]

2.2.2. FIXAÇÃO DIRETA

Existe no mercado Francês um grande número de empresas que comercializam estes sistemas mais simples de fixação em inox. A maior parte destas empresas comercializa todos os tipos de fixação que vão ser mencionados, daí não ser feita uma separação consoante empresas.

Algumas destas empresas, sendo francesas ou não, mas que comercializam neste mercado são:

- Europofix;
- Fixinox;
- Grapamar;
- Halfen.

a) Fixações mecânicas

Este sistema de fixação tem a particularidade de ser composto por um elemento resistente, que pode ter várias formas, e um perno roscado que permite regular a distância entre o suporte e o painel de revestimento.

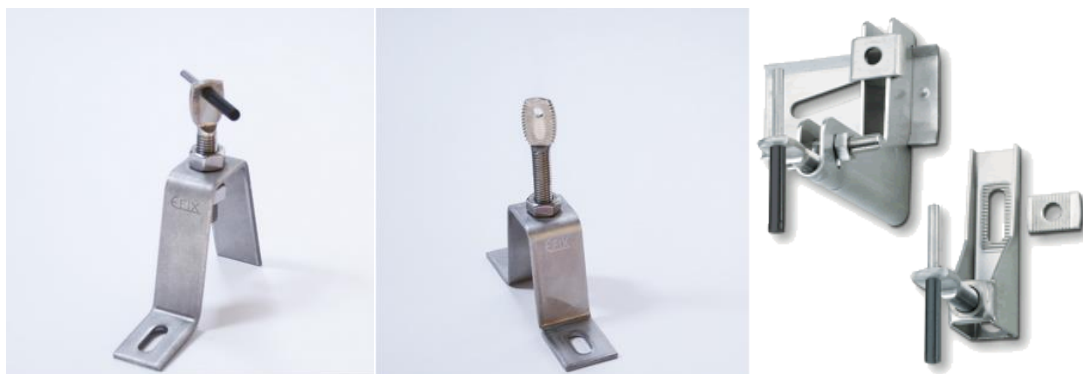


Figura 2.4 - Exemplos de patas mecânicas [3]

b) Pernos de varão nervurado

Estes sistemas são destinados a fixação em suportes cujo material é de menor densidade ou menor espessura. Têm ainda a vantagem de poder ser aplicados em zonas de junta de blocos da parede de suporte preenchidas por argamassa.



Figura 2.5 - Exemplo de perno de varão nervurado [4]

c) Esquadros de fixação

Estes elementos não reguláveis, podem ser elementos simples ou utilizados em conjunto com outros acessórios.



Figura 2.6 - Esquadros de fixação [5]

2.3. PAINÉIS DE REVESTIMENTO DE FACHADAS E ELEMENTOS DECORATIVOS

2.3.1. RIEDER SMART ELEMENTS GMBH

A Rieder é uma empresa Austríaca com um historial de 55 anos em obras de betão. A entrada para o mercado dos produtos GRC fez-se com a compra de uma fábrica Alemã que pertencia a uma empresa que já trabalhava com GRC e estava prestes a cessar atividade. Atualmente a Rieder encontra-se no mercado Europeu, Norte-Americano e Australiano através de parcerias com empresas de qualidade já comprovada. Na Europa o seu principal foco é o mercado Francês e Alemão onde atua diretamente, sendo a sede francesa localizada em Paris.

Esta empresa possui três produtos em GRC destinados a diferentes aplicações: o fibreC, o fibreC 3D e o öko skin.

a) fibreC

Este produto dotado de uma maior resistência destina-se à utilização em painéis de revestimento exterior, interior e revestimentos de piso.

Os painéis fibreC são certificados pelo CSTB e possuem dois documentos *Avis Technique* diferentes: um para painéis com fixação oculta e outro para painéis com fixação visível. A opção por um sistema ou por outro depende maioritariamente de escolhas estéticas, embora o sistema com fixação visível possua uma maior carga de depressão admissível face ao vento, o que torna a sua utilização mais adequada para edifícios de grande altura. Esta diferença na resistência está associada apenas ao sistema de fixação, uma vez que os painéis possuem as mesmas características para ambas as soluções.

Estes painéis têm uma dimensão padrão de 1200x3600 mm e espessura de 13 mm, embora seja possível a sua conceção com dimensões muito variadas mantendo a sua espessura. Possuem uma massa volúmica de 30 kg/m² e apresentam-se com várias texturas de acabamento e também diversas colorações.

As fibras de vidro utilizadas neste produto são do tipo AR – Alkali Resistentes, e são produzidas em conformidade com a norma NF EN 15422.

Os dois tipos de fixação, visível e oculta, são aplicados com recurso a uma estrutura de apoio secundária composta por perfis metálicos em alumínio e sistemas de ajuste mecânicos (figuras 2.7 e 2.8). O sistema com fixação visível pode ainda ter a estrutura secundária em madeira.

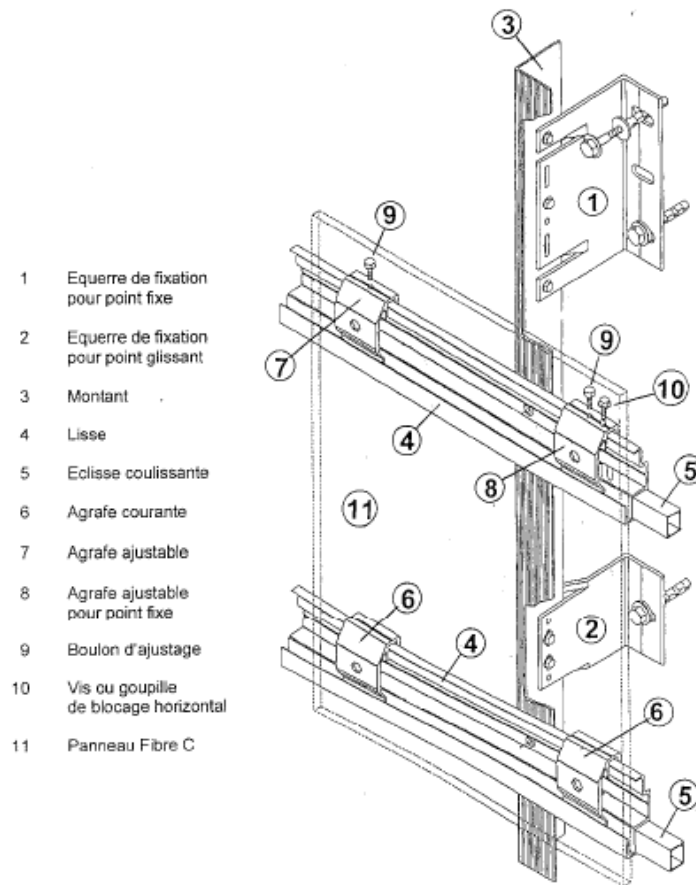


Figura 2.7 - Estrutura de apoio secundária para sistema de fixação oculta

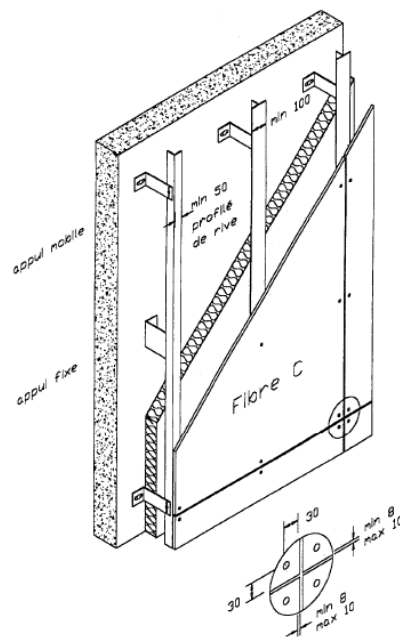


Figura 2.8 - Estrutura de apoio secundária para sistema de fixação visível

Relativamente ao desempenho deste sistema, os pontos a salientar são:

- Resistência mecânica e estabilidade – Considera-se que os painéis não têm função estrutural, devendo-se esta apenas à estrutura de suporte. As suas características físicas e mecânicas são as apresentadas no quadro 2.1;
- Impermeabilidade – são satisfeitas as exigências definidas no parágrafo 5.4.5 da norma NF EN 12467;
- Comportamento ao fogo – o material fibreC é incombustível, classe A1;
- Estanquidade ao ar – esta função cabe apenas à parede de suporte;
- Estanquidade à água – é assegurada pela estreita largura das juntas horizontais entre painéis adjacentes, dada a verticalidade da estrutura e necessidade da lâmina de ar. Em pontos singulares é assegurada pelos perfis de revestimento;
- Classificação reVETIR – segundo esta classificação, o sistema tem os seguintes índices: $r_2 e_3 V^*_{1 a 4} E_3 T_3 I_4 R_4$. * V consoante as características do sistema de fixação;
- Durabilidade – a durabilidade do revestimento fibreC é considerada como equivalente à dos revestimentos tradicionais, cumprindo as indicações da norma EN 12467.

Quadro 2.1 - Características físicas e mecânicas dos painéis fibreC

Caraterísticas	Valor	Tolerância	Unidades	Referência
Massa volúmica	2100	± 10%	kg/m ³	NF EN 12467/7.3.1
Resistência à flexão	> 18	-	N/mm ² (MPa)	NF EN 12467/5.4.3
Módulo de elasticidade	> 20000	-	N/mm ² (MPa)	-
Absorção de água	9	± 10%	%	-
Coeficiente de dilatação volumétrica	0,7	-	mm/m	-

A empresa fabricante do fibreC, Rieder, tem uma especial preocupação com as questões de sustentabilidade, e como tal possui algumas certificações para este produto [1]:

- Certificação IBO – é um documento de aprovação emitido pelo Instituto da Construção Biologia e Ecologia Austríaco. O fibreC é qualificado como excecional, segundo esta entidade;
- EPD – *Environmental Product Declaration* é um certificado emitido pelo Instituto da Construção e Ambiente (“Institut Bauen und Umwelt e.V.”) sediado na Alemanha que analisa a performance ecológica dos edifícios durante o seu ciclo de vida de acordo com as normas ISO 14025, ISO 21930 e EN 15804;
- ISO – o fibreC possui ainda certificação de acordo com as normas *International Organisation for Standardization* – ISO 14001 e ISO 9001.

Apresenta-se nas figuras seguintes alguns exemplos de construções com recurso ao fibreC:



Figura 2.9 - Residência privada, Mödling [6]



Figura 2.10 - Universidade da Califórnia, Berkley [7]



Figura 2.11 - Soccer City Stadium, Johannesburg [8]

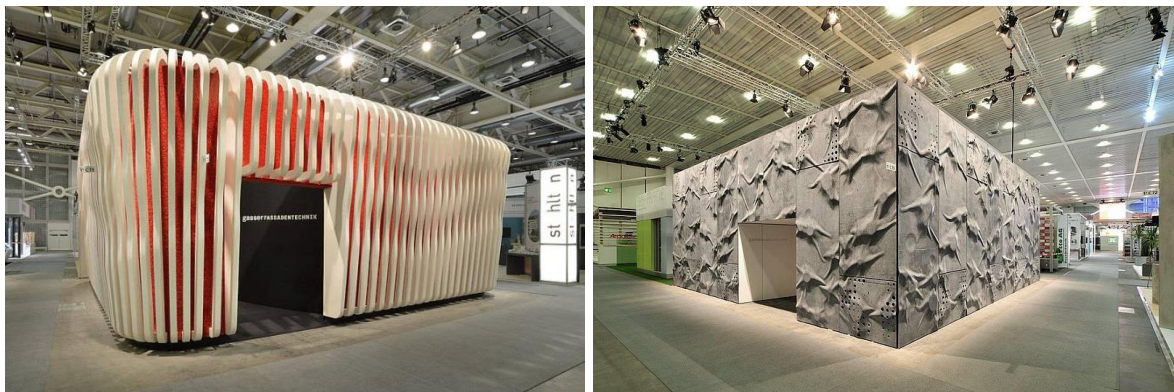


Figura 2.12 - Centro de exposições, Suissbau [9]



Figura 2.13 - Space Pavilion, Londres [10]

b) Öko Skin e fibreC 3D

O öko skin é um produto com praticamente as mesmas funções que o fibreC, tendo um acabamento diferente e sendo disponível apenas em pranchas retangulares.

O fibreC 3D é um produto com as características do fibreC, mas com a possibilidade de ser modelado em variadas formas tridimensionais. Devido às variadas geometrias o sistema de fixação é diferente do que é utilizado para o fibreC, recorrendo-se a várias soluções que são escolhidas caso a caso. Na figura 2.14 apresenta-se um exemplo do sistema de fixação utilizado para este produto.



Figura 2.14 - Sistema de fixação fibreC 3D [11]

Apresenta-se nas figuras seguintes algumas obras onde se utilizou o fibreC 3D:

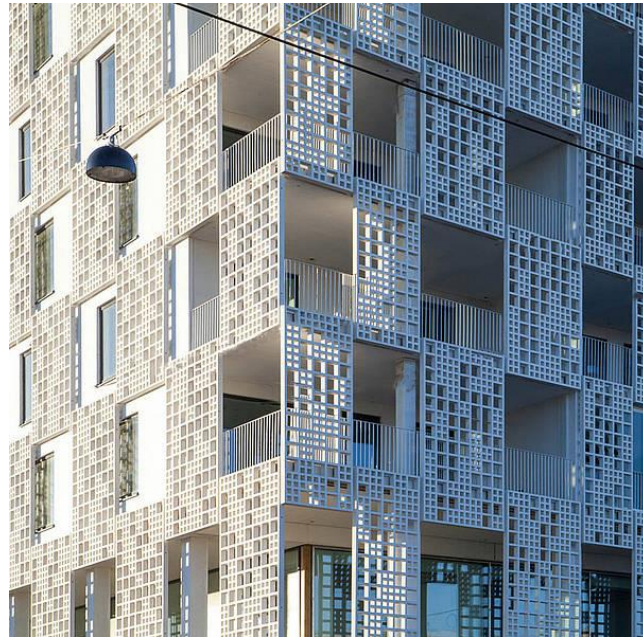


Figura 2.15 - Edifício Saukonranta, Helsínquia [12]



Figura 2.16 - Eurostars Book Hotel, Munique [13]

2.3.2. BETSINOR COMPOSITES

A *Betsinor Composites* é uma empresa francesa pertencente ao grupo *Rabot Dutilleul Group*, atualmente inserida no top 10 no setor da construção e imobiliário francês. Este grupo além do mercado francês, atua também na Bélgica, Polónia e República Checa.

A *Betsinor* trabalha com dois produtos: “Girec V”, que é um GRC fabricado e desenvolvido pela própria empresa, e o Ductal, um betão de alto desempenho reforçado com fibras (BFUP – *Béton Fibré à Ultra Hautes Performances*) que é fabricado pela empresa *Lafarge Ciments*. Embora o Ductal não

pertença à Betsinor, esta possui um *Avis Technique* para o sistema composto pelos painéis de revestimento deste material e pelas fixações.

a) GRC – Girec V

Este GRC é produzido em três variantes: por projeção, em pré-mistura e ainda através de um processo patenteado pela *Betsinor*, chamado de “MATIV”. O “MATIV” é um processo de moldagem em que a pré-mistura é injetada em vácuo nos moldes (figura 2.17), permitindo assim uma diminuição da porosidade do painel de revestimento e ao mesmo tempo o aumento das capacidades mecânicas, como se pode verificar em ensaios realizados para aprovação pelo CSTB [2].



Figura 2.17 - Processo de injeção MATIV [14]

O Girec V apresenta várias composições na sua mistura, que variam consoante o tipo de fibras utilizadas (com ou sem polímeros), o seu fabricante e ainda o modo de fabrico dos painéis, pré-mistura, projeção ou MATIV. A composição padrão é constituída por Cimento CPA CEM I 42.5, areia, fibras, polímero, metacaulino e água numa razão E/C que varia entre 0,34 e 0,44 [2].

Os painéis possuem uma espessura mínima de 10 mm, contendo nervuras interiores ou exteriores em GRC projetado ou em fibra. São aplicados no sistema com juntas abertas ou fechadas consoante o caso, sendo neste último, geralmente realizadas em borracha. A fixação dos painéis pode ser direta, com recurso a elementos mecânicos em aço inox, ou através de um elemento secundário, composto por perfis em aço inox.

As suas características de resistência, consoante o modo de fabrico apresentam-se no quadro 2.2.

Apresentam-se de seguida alguns exemplos de aplicação do Girec V com destaque para os acabamentos possíveis (figuras 2.18 a 2.21).



Figura 2.18 - Centro de pesquisas, Grenoble [15]

Quadro 2.2 - Cargas admissíveis para o Girec V

Cargas admissíveis (MPa)	Projeção			Pré-mistura com vibração			MATIV
	Tipo de fibra utilizada			Tipo de fibra utilizada			
	Pillkington	CEM-FIL-STAR	NEG ARG / BETSI 1	Pillkington	CEM-FIL-STAR	NEG ARG / BETSI 1	
Compressão simples	12	12	12	12	12	12	12
Tração simples	3	4	3	2	2	1,5	2
Flexão (nervuras planas)	6	8	6	4	4	3	4
Flexão (nervuras cruzadas)	4	6	4	2,5	2,5	1,5	2,5
Cisalhamento dos painéis	1	1	1	1	1	1	1
Cisalhamento da estrutura de nervuras	2	2	2	1	1	1	1



Figura 2.19 - Sede Bouyges Imobiliária, Issy les Moulineaux [16]



Figura 2.20 - Crèche, Paris [17]



Figura 2.21 - Hotel Hilton - Arco do triunfo, Paris [18]

b) Ductal

O Ductal é, como já foi referido, um BFUP. Caracteriza-se por uma elevada resistência à compressão – 120 MPa, uma rotura dúctil à tração e uma porosidade bastante reduzida. Estas características são obtidas sobretudo graças a um alto teor de ligante, uma relação água/cimento bastante reduzida ($E/C = 0,26$), uma granulometria dos materiais rigorosamente estudada e a utilização de fibras de álcool polivinílico. Os painéis de revestimento ou outros elementos em Ductal são produzidos apenas em pré-mistura.

A fixação dos painéis de revestimento Ductal é feita diretamente à parede estrutural de suporte, através de elementos de fixação mecânica, que são escolhidos consoante a geometria e dimensão de cada painel, sendo sempre estes elementos em aço inox.

Relativamente ao desempenho do material, as suas características de desempenho estrutural podem ser consultadas no documento de avaliação técnica do CSTB para este material [3], onde se encontram extremamente detalhadas. Existem outras exigências comuns aos materiais de revestimento, que se caracterizam da seguinte forma:

- Resistência aos choques: Os painéis realizados em Ductal não apresentaram anomalias face aos ensaios com 400 e 900 joules;
- Resistência ao desgaste: A resistência ao desgaste é determinada através de dois ensaios: um ensaio conforme a norma NF EN 660-1 (Ensaio de Estugarda) e um ensaio convencional conforme a norma NF EN ISO 10545-6;
- Arrancamento: A resistência ao arrancamento é determinada através de ensaios conforme a norma NF B 10-514. Para o Ductal obteve-se o valor de 351 daN, sendo este valor bastante superior aos obtidos para pedras naturais;
- Durabilidade: A durabilidade do Ductal é definida pelos valores de porosidade face à exposição à água, porosidade medida pela intrusão do mercúrio, resistividade elétrica, e coeficiente de difusão de cloretos. Os valores obtidos podem ser consultados na documentação já referida [3];
- Resistência ao gelo-degelo: os ensaios realizados mostram que os ciclos gelo-degelo não afetam o desempenho mecânico em flexão do material;
- Ensaio de envelhecimento acelerado: Nestes ensaios os provetes foram submetidos a 100 ciclos de calor-frio (3 horas a 80°C e 3 horas a -20°C) e posteriormente a 100 ciclos de imersão-secagem (6 horas em água a 15°C e 6 horas em ar a 60°C). Os resultados cujas tabelas podem ser consultadas na documentação de referência mostram que estes ciclos não afetam o desempenho mecânico do material.
- Reação ao fogo: o Ductal é classificado como M0 ou A1 – incombustível;

De seguida apresentam-se alguns exemplos de aplicação do Ductal (figuras 2.22 e 2.23).



Figura 2.22 - Terminal de Autocarros, Thiais [19]



Figura 2.23 - Centro comunitário, Sedan – França [20]

2.3.3. NOVIDIS

A NOVIDIS é uma empresa francesa com agências em Honk Kong, Shanghai, Taiwan, Alemanha e Portugal e atua nestes países no mercado dos elementos decorativos. Embora produza elementos para fachada ventilada semelhantes aos produzidos pela Stonemix, o seu foco atual é sobretudo para os elementos decorativos. O seu produto, aprovado pelo CSTB, é o NOVIDIS Premix. Este produto é fabricado em Portugal, numa fábrica instalada em Viana do Castelo.

a) NOVIDIS Premix

Este produto de composição semelhante ao comum GRC foi inicialmente concebido para produção de painéis para sistemas de fachada ventilada. A aplicação a elementos decorativos apenas difere no tipo de acabamento do material e este é conseguido pelo molde utilizado. É também utilizado um sistema de fixação diferente para estes elementos.

A aplicação do NOVIDIS Premix em paredes de betão permite realizar fachadas do tipo III, segundo a legislação francesa (DTU 23.1), enquanto que a sua aplicação em paredes de alvenaria, permite a realização de fachadas do tipo II (DTU 20.1).

A sua composição é feita por agregados calcários, cimento, água, fibras de polipropileno, plastificante e óxido de ferro. Estes materiais, nas quantidades definidas pela NOVIDIS, conferem uma massa volúmica de 1950 kg/m^3 ao NOVIDIS Premix. As dimensões padrão dos painéis para revestimento são: 3 cm de espessura mínima, superfície de 1 m^2 , sendo a maior dimensão 1,2 m.

Tal como o nome indica o NOVIDIS Premix é, à semelhança dos GRCs comuns, produzido em pré-mistura. A sua produção é feita em moldes de borracha com cofragens em madeira (figura 2.24).



Figura 2.24 - Moldagem do NOVIDIS Premix (molde de borracha em cofragem de madeira) [21]

A desmoldagem dos elementos é feita após 24h do enchimento dos moldes, sendo que estes são mantidos a uma temperatura entre os 12°C e os 30°C. A resistência à compressão do material nesta fase é de 20 MPa, aumentando nos dias seguintes com a cura do material.

A fixação dos painéis de revestimento é escolhida consoante cada caso, dada a liberdade de conceção que este material permite, mas o tipo mais frequentemente utilizado é uma pata mecânica que permite regular a distância do revestimento à parede de suporte (figura 2.25).

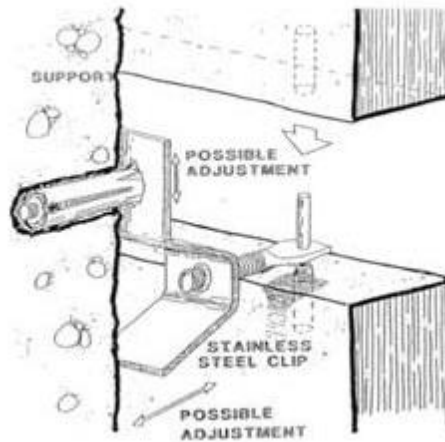


Figura 2.25 - Fixação dos painéis de revestimento [22]

A fixação de elementos decorativos feita em alguns casos através de um perno metálico que é fixado ao suporte através de uma bucha química. Noutros casos é feita através da fixação aparafusada do elemento a uma calha metálica que é fixada ao suporte (figura 2.26).



Figura 2.26 - Fixação de elemento decorativo [23]

Para a certificação do desempenho, o NOVIDIS Premix é submetido a ensaios de resistência aos choques realizados pela Bureau VERITAS em conformidade com a norma NF P 08-302 e apresentam ligeira fissuração aos 600 joules. É ainda submetido a ensaios de resistência à compressão e flexão, apresentado em média os valores de 40 MPa e 8 MPa respetivamente e segundo as normas NF EN 1926 e NF EN 12372. Ainda relativamente ao desempenho estrutural, é submetido a ensaios de resistência na zona de fixação, sendo a média de 2315 Newton.

A durabilidade do material é assegurada pelos resultados obtidos em ensaios de gelo-degelo, conforme a norma NF EN 12371, realizados também pela Bureau VERITAS, sendo que se verifica a conservação da resistência à flexão após 240 ciclos.

Apresentam-se de seguida alguns exemplos de aplicação do NOVIDIS Premix, tanto para painéis de revestimento como para elementos decorativos (figuras 2.27 a 2.30).



Figura 2.27 - Fachada com revestimento NOVIDIS Premix, Versailles [23]



Figura 2.28 - Pannel artístico para revestimento interior [23]



Figura 2.29 - Demonstração da fixação de painel de revestimento exterior [23]



Figura 2.30 - Elementos decorativos em NOVIDIS Premix [23]

2.3.4. PARTNER ENGINEERING

Criada em 1994, a Partner Engineering é uma empresa francesa especializada no fabrico e aplicação de fachadas em GRC e em betão de alto desempenho reforçado com fibras (BFUP), atuando também na área dos elementos decorativos.

Embora o GRC seja desenvolvido e produzido pela Partner Engineering, o BFUP é fruto de uma parceria com a sociedade VICAT, sendo esta empresa a detentora do produto, e a Partner Engineering responsável pelo fabrico e aplicação

a) GRC (PARTNER FACADES-CCV2011)

Este produto trata-se de um sistema em GRC comum cuja distinção é feita de outros sistemas pelo tipo de fixação utilizado. Os painéis são produzidos por projeção ou por pré-mistura com vibração dos moldes, dividindo-se em duas variantes consoante a composição que se distingue pelo tipo de fibras utilizadas: o Partner 1, uma mistura própria da Partner Engineering produzido tanto em projeção como em pré-mistura, e o NEG ARG, que tem na sua composição fibras da marca NEG e é produzido apenas em pré-mistura e para painéis de pequenas dimensões.

Sendo um produto de composição semelhante a outros já referidos neste capítulo, é de salientar que quando utilizadas as fibras NEG na sua composição, apresenta as mesmas propriedades mecânicas que o Girec V. Assim conclui-se que as possíveis vantagens na utilização deste produto, quando utilizadas estas fibras, estarão maioritariamente associadas aos elementos de fixação escolhidos.

Os painéis de GRC possuem uma estrutura nervurada, também ela em GRC, e uma espessura constante de 20 mm. Quando produzidos por projeção, os painéis são limitados a uma superfície de 8 m², sendo a maior dimensão de 4 m. Quando produzidos em pré-mistura, a superfície máxima é de 2 m² com a maior dimensão de 2 m.

A fixação do revestimento é feita através de esquadros metálicos (figura 2.31) que são fixos à parede de suporte com a utilização de buchas metálicas e buchas químicas. Cada painel é fixo superiormente por um parafuso com uma manga de fixação que é inserida neste. Inferiormente é apoiado sobre um dos esquadros metálicos através de uma cavidade feita no painel que assenta sobre uma tira de neoprene (figura 2.32).

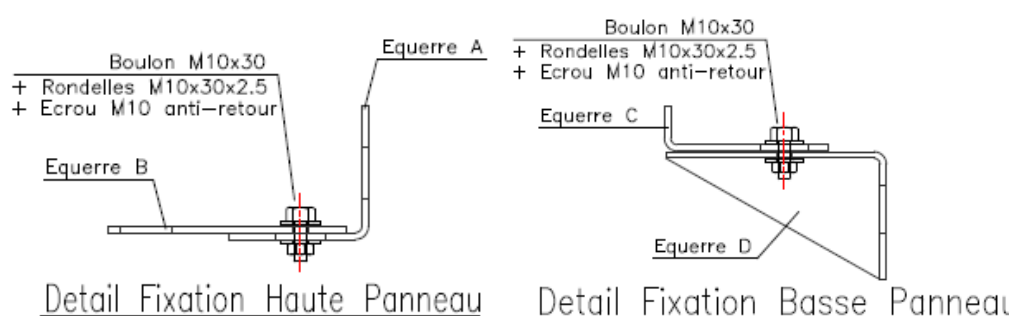


Figura 2.31 - Esquadros metálicos de fixação superior e inferior [24]

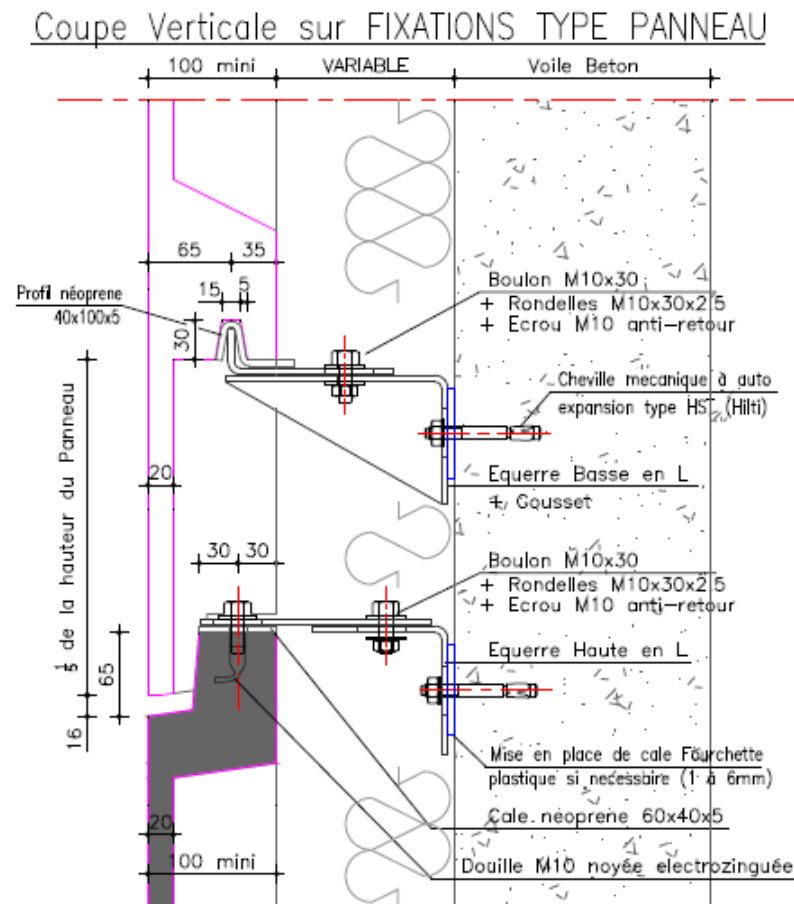


Figura 2.32 - Pormenor de fixação dos painéis [24]

Alguns exemplos de utilização do GRC da Partner Engineering apresentam-se nas figuras 2.33 a 2.35.

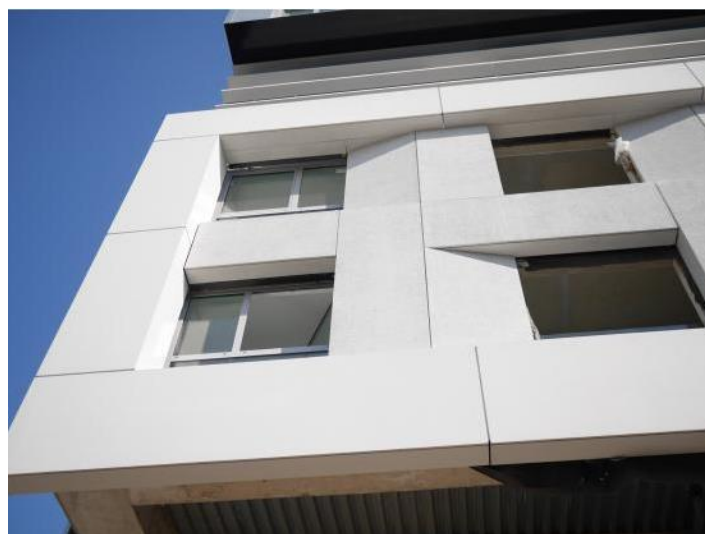


Figura 2.33 - Renovação de edifício, Paris [25]



Figura 2.34 - Edifício residencial, Paris [25]



Figura 2.35 - Painéis para obra de centro oncológico, Amiens – França [25]

b) BFUP – Vicat

O Vicat, é à semelhança do Ductal, um betão de alto desempenho reforçado com fibras. A diferença mais notável no Vicat é a utilização de fibras metálicas que lhe confere características superiores a nível de desempenho estrutural.

Este material destaca-se de outros nomeadamente devido às propriedades seguintes:

- Alta trabalhabilidade;

- Resistências à compressão aos 28 dias bastante elevadas, chegam a ser de 250 MPa;
- Alta resistência a curto prazo (24 horas);
- Durabilidade acima da média, o que permite a utilização em ambientes extremamente agressivos;
- Baixa retração e fluência;
- Elevada resistência à abrasão e aos choques.

A composição do Vicat permite-lhe uma baixa porosidade devido ao baixo teor em água necessário, que é conferido por um aditivo superplastificante, e devido à sua alta compacidade que é obtida através da utilização de componentes de pequena dimensão.

É ainda de referir que embora seja utilizado pela Partner Engineering em painéis de revestimento, as características deste material fazem com que seja possível a sua utilização em alguns elementos estruturais, elementos decorativos e sobretudo em *brises-soleil*, conhecido em português como “brise” ou quebra-sol, um sistema cada vez mais utilizado no mercado Francês.

Um exemplo da aplicação do Vicat apresenta-se na figura 2.36.



Figura 2.36 - Edifício Swatch, Reino Unido [26]

3

CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EM PETRAMIX

3.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo pretende definir e classificar os sistemas de fachadas leves, sendo dirigido principalmente para sistemas em que o revestimento é feito com painéis de GRC ou produtos semelhantes.

A classificação tem como base a abordagem funcional, tal como especificado na norma ISO 6241 [4] e faz-se ainda referência a uma abordagem celular.

São ainda referidas as vantagens que se obtém ao recorrer a este tipo de sistema, quer sejam vantagens funcionais, vantagens de conceção ou vantagens económicas.

3.2. NOÇÕES SOBRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

O conceito de sistema é geralmente associado a um edifício de maneira a facilitar o seu estudo, conceção e caracterização [5]. Assim, a aplicação de uma visão sistémica a um edifício permite a adoção de duas abordagens diferentes no que se refere à sua divisão em elementos mais simples: a abordagem funcional e a abordagem celular.

3.2.1. ABORDAGEM FUNCIONAL

Tal como indicado na norma ISO 6241 [4], um edifício pode ser dividido fisicamente em subsistemas, independentemente do método, material ou ordem de construção do mesmo.

Um subsistema pode ser formado por componentes e conjuntos distribuídos por todo o edifício, como por exemplo, aquecimento e sistemas de ventilação. Por outro lado, um componente ou conjunto pode fazer parte de um, dois ou mais subsistemas, por exemplo, um revestimento de fachada pode incluir-se num sistema de suporte estrutural, na envolvente, no sistema de ventilação, etc.

Assim, um componente ou conjunto de componentes não corresponde necessariamente a um único subsistema “funcional” do edifício. Ele pode também contribuir para dois ou mais subsistemas simultaneamente.

Nesta abordagem, apresenta-se a decomposição do edifício nos seguintes subsistemas principais:

- Estrutura;
- Envolvente exterior;
- Compartimentações exteriores;
- Compartimentações interiores;
- Instalações e equipamentos.

Sendo o revestimento de fachadas ventiladas um componente que se insere na envolvente exterior, apresenta-se no seguinte quadro a decomposição deste subsistema.

Quadro 3.1 - Componentes da envolvente exterior [4]

Subsistema principal	Subsistema secundário	Exemplo de componentes
Envolvente exterior	Envolvente enterrada	Parede estrutural, parede de cave, pavimento térreo, passagem de canalização.
	Envolvente acima do solo	Parede estrutural, envolvente lateral, cobertura, pavimento exterior, aberturas (janelas, portas, claraboias, etc.)

Segundo esta abordagem é então possível decompor os sistemas de revestimento em pedra ou misturas de pedra em fachadas ventiladas da seguinte forma:

- Subsistema principal: envolvente exterior;
- Subsistema secundário: envolvente acima do solo;
- Componente: parede exterior.

A exigência funcional surge da condição de satisfazer as necessidades dos utilizadores do edifício, sendo que este deve garantir a realização de todas as funções para a satisfação dessas necessidades, através da associação de componentes dos edifícios a funções que possam ser asseguradas por esses mesmos componentes. [6]

3.2.2. ABORDAGEM CELULAR

Neste tipo de abordagem o edifício é dividido em elementos mais simples, sendo que estes constituem células individuais complementares e não sobrepostas, e que em conjunto definem o edifício.

Através desta abordagem decompõe-se o edifício segundo os seguintes níveis (Figura 3.1.):

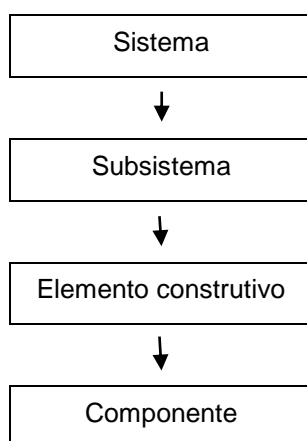


Figura 3.1 - Decomposição do edifício segundo a abordagem celular.

O elemento de construção resulta da divisão de um subsistema de construção em elementos realizados a partir de materiais simples, componentes e processos de construção. No que se refere aos

componentes, trata-se de produtos realizados com vários materiais básicos em unidades industriais, ou seja, em regime de pré-fabricação (de segunda ou terceira transformação), com o objetivo de serem inseridos em elementos de construção, respeitando os processos de construção e montagem. [7]

De acordo com esta abordagem, e analisando os sistemas de revestimento de fachadas em Petramix, é possível definir a seguinte divisão:

- Sistema: Parede exterior;
- Subsistema: Revestimento final exterior;
- Elemento construtivo: painel Petramix.

A parede exterior, sendo um sistema na abordagem celular é um elemento constituinte da envolvente exterior, que por sua vez é um subsistema principal na abordagem funcional. A parede exterior pode apresentar como subsistemas o revestimento final exterior e o revestimento final interior além da própria estrutura, entre outros possíveis subsistemas. Embora estes dois subsistemas sejam distintos, e portanto não coincidentes na mesma divisão celular, na atribuição das exigências funcionais relativas ao subsistema “envolvente exterior” coincidem. Como tal, o resultado da abordagem celular não coincide com o resultado da abordagem funcional.

Assim, e no âmbito deste trabalho, a abordagem celular torna-se mais relevante.

3.3. FACHADAS LEVES

Neste capítulo pretende-se caracterizar as fachadas leves, inserindo-as no âmbito das soluções de revestimento em painéis de pedra/misturas de pedra, como é o caso do Petramix.

3.3.1. DEFINIÇÃO

De acordo com a norma NF P 28-001 [8], uma fachada leve consiste numa ou mais paredes, incluídas numa parede exterior, com as seguintes características:

- Material de baixa massa, geralmente inferior a 100kg/m^2 ;
- Constituída por produtos pré-fabricados;
- São suportadas por uma parede estrutural em betão, metal ou madeira, chamada de estrutura primária.

A camada externa do revestimento encontra-se normalmente apoiada em estruturas secundárias, como madres secundárias verticais ou horizontais, que são fixas à estrutura principal do edifício, podendo também ser apoiadas por fixação direta à parede estrutural do edifício.

Resumidamente, estas fachadas apresentam três áreas: a estrutura principal do edifício, a estrutura secundária e o revestimento. A estrutura principal é responsável por suportar as cargas do edifício e transferir as cargas da fachada para as fundações. A estrutura secundária é responsável por transmitir as cargas do revestimento para a estrutura principal, e a terceira camada tem uma função de vedação externa.

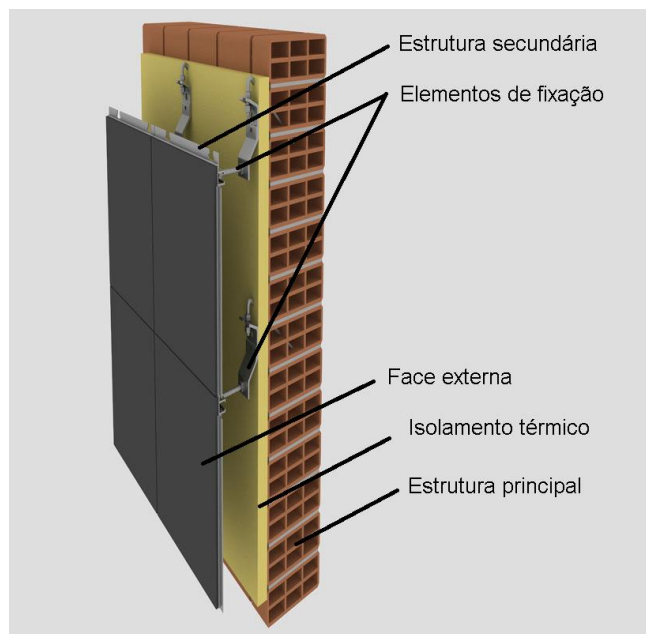


Figura 3.2 - Esquema de corte de uma fachada leve. Adaptado de [9]

3.3.2. CLASSIFICAÇÃO

De acordo com as diretivas UEATc [10], as fachadas podem ser classificadas em três grupos, de acordo com o seu posicionamento:

- Fachada cortina: fachada leve, constituída por uma ou mais camadas, posicionada totalmente externa à estrutura do edifício, formando uma “cortina” paralela à parede estrutural do mesmo. Em francês, o termo para esta fachada é *Façade rideaux*.
- Fachada semi-cortina: fachada leve, constituída por uma ou mais camadas, cuja camada exterior é posicionada externamente à estrutura do edifício e a camada interior inserida entre lajes. A camada interior não tem de ser obrigatoriamente leve, podendo ter funções estruturais, sendo que a camada exterior será exclusivamente de revestimento. Em francês, o termo utilizado para esta fachada é *Façade semi-rideaux*.
- Fachada painel: são inseridas totalmente entre os pavimentos, podendo ser interrompidas por paramentos verticais ou horizontais do edifício.

3.4. DEFINIÇÃO GERAL DO SISTEMA

O sistema de revestimento em estudo é composto por dois componentes principais a seguir descritos, sendo de destacar que não utiliza estrutura secundária (*subframe*), uma vez que o revestimento é apoiado diretamente na estrutura principal através do sistema de fixação:

- Estrutura principal: estrutura de suporte dos componentes a jusante, geralmente uma parede de alvenaria ou betão, que permite suportar o revestimento. Esta parede serve também como revestimento interior da fachada.
- Revestimento: Painéis de Petramix, incluindo componentes de fixação, responsáveis por transmitir as cargas da camada exterior para a estrutura principal e funcionar como uma espécie de estrutura secundária que garante o afastamento entre os painéis de revestimento e a parede estrutural, juntas de dilatação do tipo “junta seca” e isolamento

térmico. O revestimento tem como função definir uma envolvente estanque ao ar e à água, garantir isolamento térmico e acústico e ainda prevenir a propagação do fogo.

3.4.1. CARACTERÍSTICAS DOS PAINÉIS

Os painéis de Petramix permitem uma liberdade arquitetónica total (dentro dos limites de resistência e exigências permitidos), isto é, é possível definir painéis com várias formas, relevos, texturas, cores e dimensões. Isto é a principal característica destes painéis, e o que os distingue de painéis comuns em GRC e outros materiais semelhantes como se poderá verificar nos exemplos posteriormente apresentados.

O Petramix, produto patenteado pela Stonemix S.A., trata-se de uma mistura de componentes que quando juntos e após a sua cura, conferem características únicas às peças criadas, sejam painéis de revestimento ou elementos decorativos. A composição comum para fabricar 1 m³ de Petramix é a seguinte:

- Argamassa: 1830 kg;
- Agregados: 280 kg;
- Fibras de vidro: 1.2 kg;
- Água: 270 L (E/C=0.15).

Consoante a necessidade é utilizada uma de duas argamassas industriais, do tipo I-01 ou I-02, (anexo A) fabricada pela Cimpor especificamente para a produção do Petramix. Estas argamassas são compostas por cimento branco Portland, agregados calcários, e aditivos específicos para assegurar a consistência do material. A diferença entre os dois tipos é apenas na coloração, a I-01 confere ao Petramix um tom quase bege, enquanto que a I-02 confere um tom branco.

As fibras de vidro utilizadas são fabricadas pela Nippon Electric Glass Co.,Ltd. (NEG), uma empresa japonesa que fornece grande parte dos fabricantes mundiais de GRC e materiais semelhantes. O tipo de fibra utilizada é ACS 13H 530X, em que “A” significa que as fibras são alkali-resistentes, “CS” que as fibras são segmentadas (*Chopped Strands*), “13” é a dimensão dos filamentos em milímetros, “530” é o diâmetro dos filamentos em micrómetros e o “X” indica que cada cordão possui 200 filamentos.

A estes materiais é ainda adicionado óxido de ferro para pigmentação. Com esta composição o Petramix apresenta uma massa volúmica de 2200 kg/m³.

Os painéis apresentam uma resistência média à flexão de 8,7 MPa. Nas zonas de fixação, é suportada uma carga de 516 N. Estes valores são abordados com maior detalhe, juntamente com outros fatores de desempenho, no capítulo 6 – Avaliação e certificação do desempenho.

Como foi referido, a característica que distingue os painéis de revestimento em Petramix de revestimentos noutros materiais é a possibilidade de conceção por medida, permitindo formas que normalmente não se conseguem nestes últimos. De seguida, apresentam-se alguns exemplos de painéis e fachadas em que se utilizou o Petramix, sendo alguns para decoração de fachada:



Figura 3.3 - Painéis de pequena dimensão



Figura 3.4 - Painéis com textura xistosa



Figura 3.5 - Pannel de acabamento artístico



Figura 3.6 - Painéis de revestimento



Figura 3.7 - Painel para obra em Cachan, França



Figura 3.8 - Painel de obra em Paris, França

3.4.2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE FIXAÇÃO

Como foi anteriormente referido, neste sistema os componentes de fixação têm a função não só de transmitir as cargas provenientes do pano exterior, como também de assegurar o afastamento entre este último e a parede estrutural, de maneira a garantir a colocação de isolamento térmico e a existência de uma caixa-de-ar para que haja ventilação.

Sendo o produto “Petramix” caracterizado por possuir painéis de diferentes pesos e dimensões, o sistema de fixação pode variar consoante cada painel. Apesar disso, existem um tipo de fixação que é mais utilizado, por ter características que vão de encontro às necessidades da maior parte dos painéis, sendo a sua fixação na parede estrutural diferente para paredes de betão e para paredes de alvenaria.

O sistema geralmente usado é um sistema do tipo “pata mecânica”. Este sistema tem a grande vantagem de permitir uma fácil regulação em profundidade da distância entre parede de suporte/ eixo fixador. Essa regulação é conseguida através de uma porca rebite cravada no corpo da pata mecânica, que vai fazer rodar o perno roscado, afastando ou aproximando o painel de revestimento consoante a espessura do isolamento e caixa-de-ar necessárias.

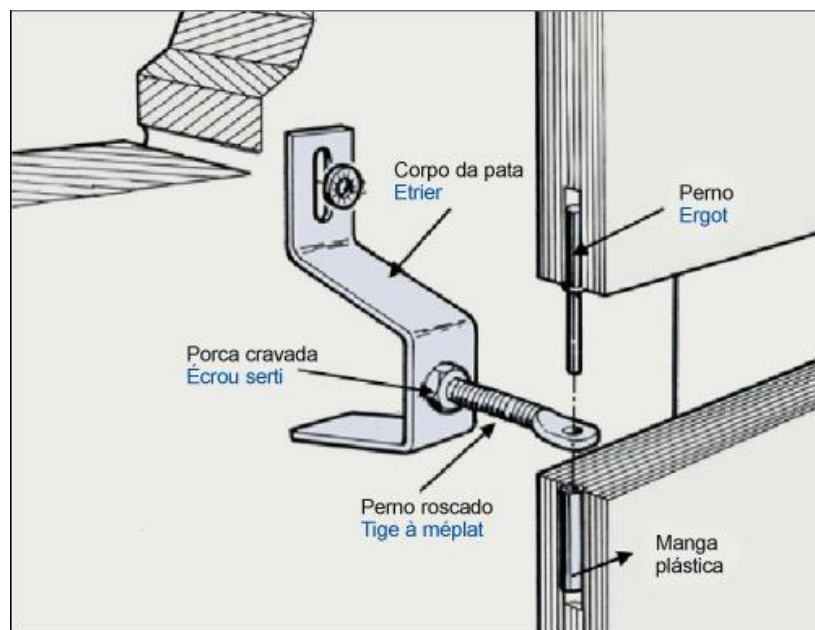


Figura 3.9 - Esquema do sistema de fixação do tipo pata mecânica. [11]

Para paredes em betão, este sistema é fixado através de uma bucha metálica com rosca interna, que expande no interior da parede garantindo a fixação. No anexo B apresenta-se o processo de instalação da pata mecânica para este tipo de bucha, conforme indicado pelo fabricante do sistema.



Figura 3.10 - Bucha metálica para fixação em betão

Para paredes em alvenaria ou zonas de junta na parede estrutural, o sistema é fixado através de uma bucha de manga plástica, que expande no interior da parede e é depois fixada com uma resina.



Figura 3.11 - Bucha de manga plástica para fixação em alvenarias e zonas de junta

A instalação da pata mecânica é feita segundo 3 etapas [12]:

- **Etapa 1 – Colocação da bucha de fixação:** Com o auxílio de uma broca é feito um furo com o diâmetro da bucha segmentada, o furo deve ser feito com as mesmas características da bucha, de modo a permitir a sua penetração. Após a limpeza do furo com um compressor de ar, a bucha é introduzida com a ajuda de um martelo. Depois de ter colocado a pata mecânica adequada à configuração necessária, a porca é apertada até ao seu ponto máximo;

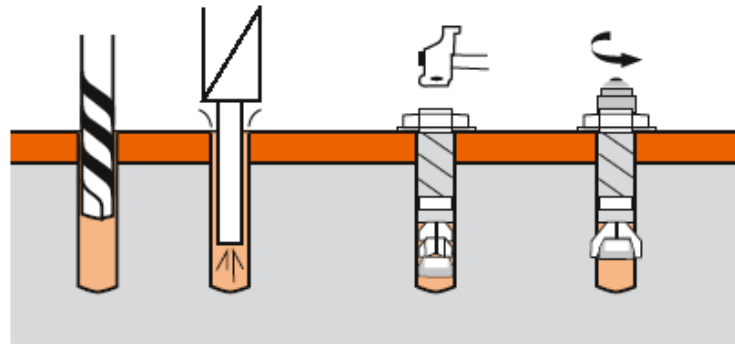


Figura 3.12 - Etapa 1: Colocação da bucha de fixação

- Etapa 2 – Regulação da pata mecânica:** Com o auxílio dos ajustes que este sistema oferece, coloca-se o perno na sua posição nominal e encaixa-se o painel a suportar. Com uma chave dinamométrica é feito um aperto final (determinado pelo fabricante) da bucha de fixação;

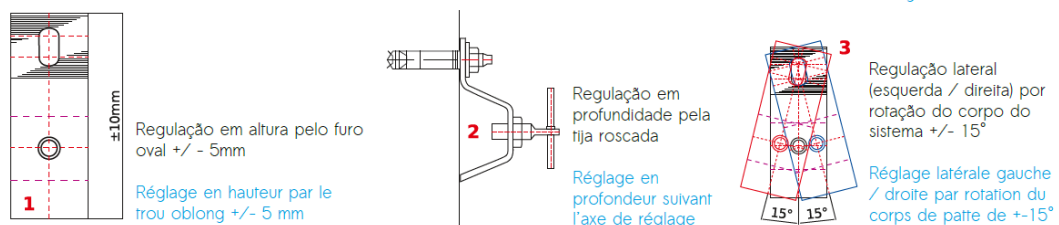


Figura 3.13 - Etapa 2: Regulação da pata mecânica

- Etapa 3 – Colocação do painel:** O painel é colocado de forma a estar suportado pelo sistema de fixação correspondente. É efetuado um primeiro ajuste de forma a colocar a peça na sua posição final. De seguida é efetuado um último aperto da porca da bucha de fixação para compensar um eventual desaperto devido a operações de ajuste das juntas verticais e horizontais. A possível deslocação devido ao peso é suportada por duas patas mecânicas chamadas “de suporte” que são colocadas na parte inferior da pedra. As outras patas chamadas “de retenção” impedem o desaperto. Admite-se que o esforço do vento é suportado pelas quatro patas mecânicas.

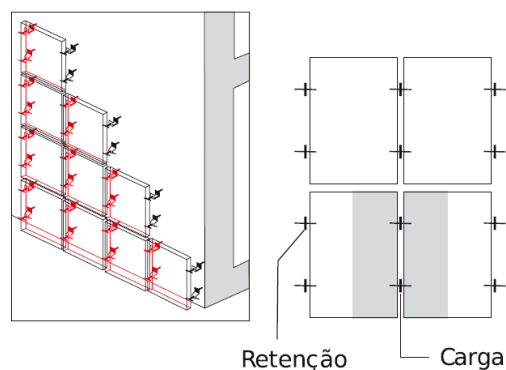


Figura 3.14 - Etapa 3: Colocação do painel

Para os suportes de fixação, o material utilizado é aço inoxidável A2 ou A4, consoante a classe de exposição. Isto é uma característica fundamental, uma vez que os painéis de Petramix são bastante sensíveis aos agentes de corrosão provenientes da oxidação de materiais metálicos.

3.4.3. JUNTAS E TOLERÂNCIAS

Para garantir que a fachada realiza as funções a que se destina, é necessário combinar elementos de dimensão variada, sendo que no caso dos painéis Petramix, existem projetos em que se encontram mais de 20 tipos de peças de diferente dimensão.



Figura 3.15 - Junta de dilatação [13]

Uma vez que cada painel pode sofrer dilatações em três direções, devem ser considerados como mais que um elemento, sendo portanto a fachada considerada como descontínua.

Neste sistema são sempre utilizadas juntas abertas, verticais e horizontais. A junta vertical encontra-se na ligação dos painéis adjacentes horizontalmente e a junta horizontal encontra-se na ligação dos painéis adjacentes verticalmente, como demonstrado na figura 3.10.

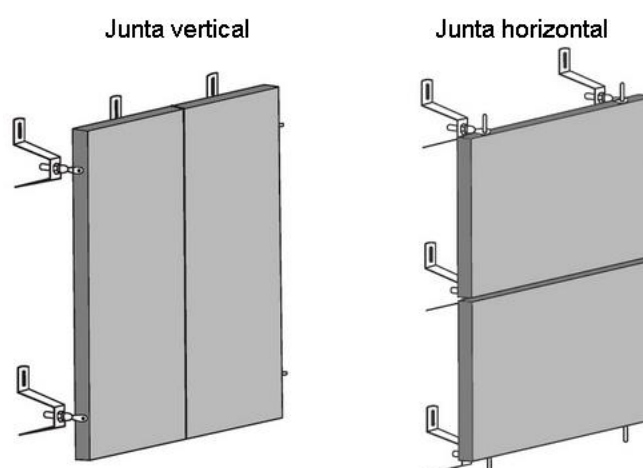


Figura 3.16 - Orientação das juntas. Adaptado de [13].

A questão das tolerâncias é relevante quando se descrevem os sistemas e a sua pormenorização. O conceito de tolerância advém da diferença entre a posição atual de um determinado componente relativamente ao edifício como um todo e a posição prevista com base nos cálculos de projeto. Como resultado dessa diferença, o intervalo entre determinados componentes poderá tornar-se demasiado

grande, mas também poderão existir situações em que componentes distintos podem ser forçados a interagir um com o outro, provocando esforços substanciais nos sistemas construtivos. Para evitar a ocorrência destas duas situações extremas e garantir que os vários componentes interajam corretamente, a pormenorização deve ter em conta, não apenas o desempenho do sistema e os fatores externos atenuantes, mas também as alterações dimensionais espectáveis e não espectáveis.

No fundo, a importância das tolerâncias é relacionada com a necessidade de assegurar as corretas ligações entre estrutura principal e revestimento, sem comprometer as exigências que a envolvente exterior deve cumprir tais como a estabilidade, estanquidade ao ar, água, entre outras.

Para um determinado material, é necessário assegurar que os seus componentes são produzidos de acordo com as tolerâncias especificadas para esse material. Para os componentes da fixação, que são em aço, as tolerâncias são da ordem do milímetro. Relativamente aos painéis de revestimento, é necessário garantir ajustamentos em três dimensões.

Para o sistema de fixação utilizado, os fabricantes recomendam geralmente uma folga de 2mm entre a parte achatada do perno roscado e a parte superior da pedra colocada inferiormente, como demonstrado na figura 3.11.

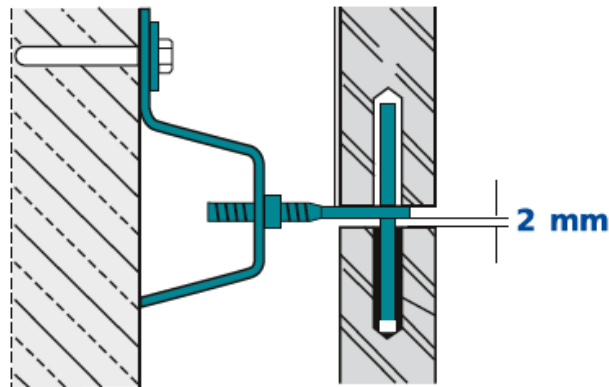


Figura 3.17 - Afastamento na junta entre painéis.

No interior dos painéis, como se observa na figura 3.12, existe ainda um afastamento entre o material de revestimento e os pernos de fixação, que são envoltos por uma manga plástica de maneira a evitar a penetração de cola/resina e o possível bloqueio do sistema.

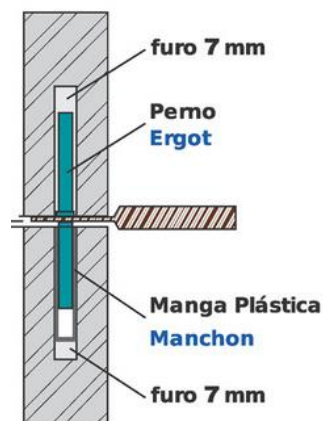


Figura 3.18 - Pormenor da fixação no interior dos painéis de revestimento.

Relativamente às tolerâncias de fabrico, são geralmente seguidas as recomendações de PCI [14] relativas a painéis em GRC, sendo que em termos de legislação existem as diretivas francesas, DTU 22.1 [9] relativas a painéis pré-fabricados de grandes dimensões em betão.

Quadro 3.2 - Tolerâncias de fabrico estabelecidas por PCI e DTU 22.1

Norma	Descrição	Tolerâncias
PCI	Comprimento	$L \leq 3m$ $\pm 3mm$
		$L > 3m$ $\pm 1mm/m$, com máximo de 6mm
	Espessura	-0mm; +6mm
DTU 22.1	Comprimento	$\pm 10mm$
	Espessura	$\pm 6mm$

Pela tabela anterior verifica-se que as tolerâncias de fabrico estabelecidas por PCI são mais rigorosas que as indicadas na DTU 22.1. A tolerância no comprimento dos painéis definida por PCI é de $\pm 6mm$ para painéis de grande dimensão ($>3m$), enquanto que a tolerância definida na DTU 22.1 admite $\pm 10mm$.

A Stonemix S.A., define para a aplicação dos seus painéis em Petramix, um afastamento entre 3 a 5mm, de maneira a garantir a correta ventilação do espaço de ar e a respeitar todas as variações dimensionais relativas ao painel e ao sistema de fixação.

As tolerâncias de montagem dependem das dimensões de coordenação dimensional, das dimensões nominais dos painéis e de junta mínima admissível [15]. A precisão no posicionamento do painel de revestimento é definida pelo controle das dimensões e da facilidade de ajuste dos componentes de fixação. Na montagem dos painéis devem ser utilizadas linhas de referência para garantir o nível, o prumo e o alinhamento dentro das tolerâncias admissíveis de projeto, conforme nas figuras 3.13 e 3.14 onde Δ representa o deslocamento e α o desvio angular.

Quadro 3.3 - Tolerâncias de montagem estabelecidas por PCI

Norma	Descrição	Tolerâncias
PCI	Desvios de posicionamento no plano da fachada	$L < 6m$ $\pm 6mm$
		Δ $L \geq 6m$ $\pm 8mm$
		α $L \leq 3m$ $\pm 6mm$
		α máximo $\pm 9mm$
	Desvios de posicionamento na secção transversal	Δ $\pm 6mm$
		α $L \leq 3m$ $\pm 6mm$
		α Máximo em 30m $\pm 25mm$

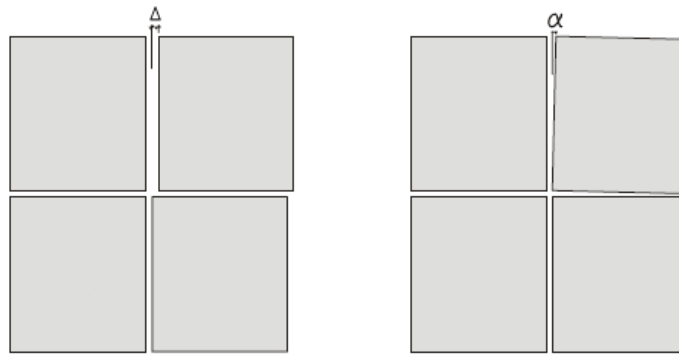


Figura 3.19 - desvios de posicionamento de painéis no plano da fachada

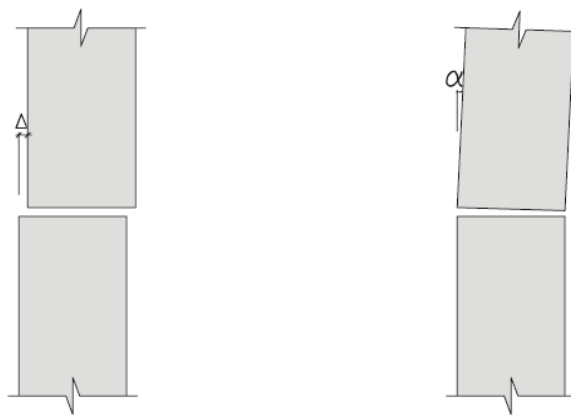


Figura 3.20 - desvios de posicionamento na secção transversal dos painéis no plano da fachada

3.5. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA

O sistema de fachada ventilada, e no caso específico da utilização de painéis em Petramix, apresenta vantagens, tanto relativamente ao próprio sistema, como à pré-fabricação, sendo que esta última é melhor abordada no capítulo 4. Estas vantagens verificam-se em vários níveis: ao nível funcional, estético, conceptual e da construção em fábrica.

3.5.1. VANTAGENS FUNCIONAIS

A grande vantagem funcional deste tipo de fachadas é o facto de permitir a ventilação contínua e natural da parede do edifício, através do efeito de chaminé – o ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior. Deste modo, as pequenas quantidades de água infiltradas ou condensadas na caixa-de-ar são evaporadas pela ventilação da mesma, contribuindo para um melhor desempenho térmico.

A caixa-de-ar é assim, responsável pelo desempenho higrotérmico da envolvente ao proporcionar uma interrupção da capilaridade, a drenagem por gravidade e a remoção da humidade através de um fluxo constante de ar. [16]

Outra vantagem é a durabilidade dos painéis. Os painéis em Petramix apresentam uma grande resistência ao desgaste por ação do tempo e à corrosão, devido à natureza dos seus componentes. O facto de ser um sistema de revestimento descontínuo que permite a livre dilatação e retração dos

materiais consoante as condições de clima e temperatura leva a que a ocorrência de patologias físicas, como por exemplo a fissuração, não se verifique.

Relativamente à manutenção, a eventual substituição de peças é feita com facilidade e em pouco tempo e, dada a resistência do produto, esta é praticamente inexistente a médio prazo.

O Petramix é ainda um produto incombustível, apresentando uma capacidade inerente de resistência ao fogo.

No aspeto funcional, entre outras vantagens associadas ao sistema de fachada ventilada já estudadas aprofundadamente noutros trabalhos publicados, estas são as de maior importância no que ao Petramix se concerne.

3.5.2. VANTAGENS DA PRÉ-FABRICAÇÃO

A pré-fabricação, aliada a uma rápida montagem, poupa um tempo com grande valor durante a construção. Enquanto se produzem os painéis, os trabalhos *in situ* da estrutura vão-se desenvolvendo, permitindo a entrega e montagem dos painéis no momento determinado pelo planeamento da obra. Sendo que os painéis são entregues já prontos para a montagem e esta é de relativa facilidade, este trabalho pode ser feito em quaisquer condições meteorológicas, economizando também tempo quando as mesmas não são as ideais.

Outra vantagem em ter um produto final pronto a aplicar na obra relaciona-se com o facto de se dispensar cofragens temporárias. A não utilização de cofragens permite eliminar os subsequentes trabalhos de acabamento ou reparação de defeitos.

3.5.3. VANTAGENS RELACIONADAS COM A CONCEÇÃO

A grande vantagem é o aspeto em que os painéis de Petramix se destacam de outros produtos de revestimento da mesma categoria, é a liberdade concecional. É possível uma grande diversidade na especificidade do projeto, flexibilidade de tamanho, forma, cor e textura, de modo a obter as características desejadas pelo cliente.

Também devido à sua plasticidade, o Petramix é um material fortemente recetivo às necessidades criativas do projetista, sendo possível realizar de forma bastante económica (relativamente a outros materiais) formas e configurações complexas.

O facto de ser produzido em fábrica permite também um controlo de qualidade superior, garantindo desta forma uma fachada uniforme e permitindo a inspeção da superfície de acabamento ainda antes da sua instalação.

3.5.4. VANTAGENS ECONÓMICAS

As vantagens económicas resultantes da utilização de soluções pré-fabricadas estão inerentes a grande parte dos aspetos acima mencionados. Tornam-se mais evidentes essas vantagens à medida que as inovações do projeto e a produção em série aumentam a produtividade geral da obra.

A pré-fabricação contribui para uma redução dos trabalhos *in situ*, reduzindo assim as áreas de estaleiro e diminuindo ainda o número de operações em obra, que consequentemente leva a uma redução dos riscos de acidentes de trabalho e os seus custos associados. A redução do tempo global de obra, associada à não necessidade de utilização de mão-de-obra especializada, traduz-se na mais relevante redução de custos globais. [17]

4

FABRICO E MONTAGEM DE COMPONENTES

4.1. INTRODUÇÃO

Com a atual crise no setor da construção as empresas sofreram um grande impacto negativo na sua produção. Esta situação leva a que as empresas implementem ações que conduzam à melhoria contínua da sua produtividade. A industrialização do setor, através da utilização da pré-fabricação, tem sido uma solução para atingir esta melhoria desejada, considerando as vantagens significativas que a aplicação deste tipo de soluções introduzem numa obra.

Atualmente, as empresas de construção e todos os seus intervenientes consideram que a principal prioridade para tornar o setor mais rentável é reduzir o tempo de construção [18], procurando diminuir os seus custos e, simultaneamente, aumentar a eficiência de processos de produção, racionalizar a utilização de recursos, otimizar as operações e aumentar a qualidade do produto final, seguindo-se as preocupações com fatores como o desempenho ambiental e a segurança.

A linha de produção de produtos de construção, não só tem a capacidade de reduzir o tempo de obra, como ainda aumenta o desempenho ambiental e a segurança no estaleiro, proporcionando também um ambiente mais limpo com redução de desperdícios, o que leva a um incremento da qualidade do produto final, uma vez que se eliminam em fábrica práticas abusivas que por vezes ocorrem em obra.

4.2. PROCESSO DE PRODUÇÃO

A pré-fabricação, sendo uma das vias para a industrialização da construção, agrega em si um conjunto de técnicas de construção que se baseiam na produção em série de elementos de construção fora dos seus locais de implantação, mantendo as características e exigências normais de durabilidade, resistência, conforto e aspeto. A característica determinante da pré-fabricação é o facto de permitir, graças a um encadeamento rigoroso e detalhado durante o processo de produção, a execução expedita através de mão-de-obra não especializada, sem recorrer a alterações ou retoques, permitindo também a redução da necessidade de trabalhos de acabamentos.

O processo de produção dos painéis em Petramix envolve várias etapas que se realizam sistematicamente até obter o produto final:

- a) Mistura dos componentes da argamassa;
- b) Fabricação, controlo de qualidade de moldes e enchimento dos mesmos;
- c) Cura e desmoldagem dos painéis com acabamento final;
- d) Controlo de qualidade do produto final;
- e) Armazenamento e transporte.

a) Mistura dos componentes da argamassa

Como já foi referido anteriormente, o Petramix é constituído, essencialmente, por uma argamassa industrial, agregados e água, podendo eventualmente conter adjuvantes e adições. As fibras de vidro são adicionadas a esta pasta e dispersas aleatoriamente, sendo o material de reforço deste compósito, que contribui para o aumento da resistência mecânica dos painéis.

Sendo a produção do Petramix em *premix*, tal como no GRC, a mistura dos seus componentes (figura 4.2) é feita numa misturadora industrial (figura 4.1), conforme as dosagens já referidas.



Figura 4.1 – Misturadora industrial.



Figura 4.2 - Adição de argamassa de cimento (à esquerda) e fibra de vidro (à direita).

Após feita a mistura, que demora em média cerca de 20 minutos, enchem-se os bidões a partir dos quais se vão encher os moldes (figura 4.3), recorrendo a uma grua elevatória.



Figura 4.3 - Aspeto da argamassa antes da sua aplicação

b) Fabricação, controlo de qualidade dos moldes e enchimento

Os moldes utilizados para fabricar os painéis em Petramix são também produzidos na fábrica. O processo para obter estes moldes finais contempla várias etapas: após a receção dos desenhos de arquitetura de cada peça e feita a leitura das suas cotas, é feita uma peça em madeira com as características do painel final. Esta peça, combinada com uma contenção também em madeira é lixada e envernizada com um verniz poliuretano. Depois da pintura é então enchida com poliuretano que servirá de molde para se criar uma peça em gesso cerâmico. O molde em poliuretano é então enchido com gesso, sendo posteriormente secado em estufa durante 24 a 48 horas. Após a secagem, a peça de gesso colocada numa contenção de madeira é enchida com a borracha (figura 4.4), que terá a forma do molde final. Finalmente, após a secagem da borracha, que é feita durante uma noite, a peça de gesso é retirada, partindo-se com recurso a uma espátula e martelo.



Figura 4.4 - Enchimento da peça de gesso com borracha

Quando se obtém o molde final em borracha, faz-se a verificação da sua qualidade, inspecionando defeitos decorrentes da sua secagem e corrigindo os mesmos com poliuretano. Sendo aprovado o molde, é aplicada uma camada de desmoldante, para facilitar a remoção da peça final em Petramix.

No caso específico apresentado, polvilharam-se ainda os moldes com talco industrial (figura 4.5). Este produto vai dar as características finais de textura e acabamento no painel de Petramix (figura 4.6).



Figura 4.5 - Molde de borracha após polvilhação de talco.

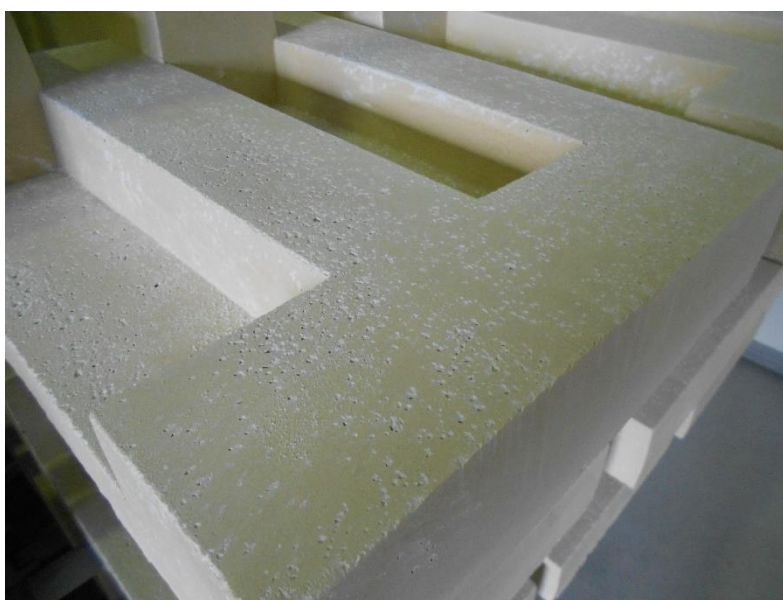


Figura 4.6 - Acabamento do painel Petramix

O enchimento dos moldes é feito com recurso a uma grua que eleva o contentor com a argamassa (figura 4.7), sendo este controlado por uma válvula que regula o fluxo da mesma.

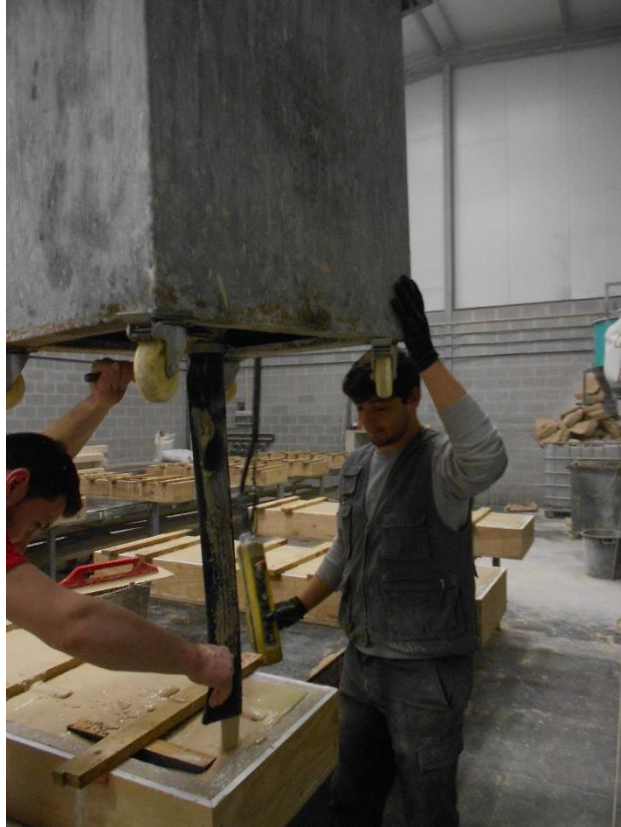


Figura 4.7 - Enchimento dos moldes com Petramix

Por fim, tal como se observa na figura 4.8, é retirado o excesso de argamassa para se iniciar o processo de cura.



Figura 4.8 - Remoção do excesso de argamassa

É importante referir a razão pela qual são necessárias todas estas etapas até se obter o molde final em borracha, quando seria de esperar fazer um único molde e fazer o seu enchimento, abrangendo assim apenas duas etapas neste processo. Isto deve-se à necessidade de produzir as peças em moldes de borracha. Estes moldes, combinados com o uso de um produto desmoldante têm a capacidade de produzir até 100 peças cada um, não sofrendo deteriorações, ou sendo estas praticamente

insignificantes. Tal não seria possível se fossem usados moldes em madeira, ou mesmo em poliuretano, uma vez que no processo de desmoldagem este tipo de moldes sofreriam danos e a sua reparação ou substituição introduziria custos adicionais à produção.

c) Cura e desmoldagem dos painéis

A cura dos painéis em Petramix resulta numa hidratação apropriada do produto cimentício e é necessária para atingir as propriedades desejadas dependentes da fibra e matriz do composto.

O processo de cura deste material inicia-se após enchimento dos moldes, em que as peças são colocadas em repouso numa superfície aquecida, durante 12 a 15 horas, sendo a temperatura sempre superior a 16°C.

Decorridas cerca de 12 horas, as peças, que já têm resistência suficiente para serem desmoldadas, são retiradas dos moldes e colocadas em repouso (figura 4.9) para se processar a sua cura à temperatura ambiente, processo que dura 14 dias.

É ainda de salientar, que após a desmoldagem, os painéis já apresentam o acabamento final e a textura desejada, sendo esta uma grande vantagem do uso de Petramix, como já foi anteriormente referido.



Figura 4.9 - Peças em repouso durante a cura.

d) Controlo de qualidade do produto final

Após a desmoldagem os painéis são alvo de uma verificação de defeitos. Em alguns casos as peças sofrem rotura ao serem desmoldadas, sendo que neste caso são descartadas. Quando existem pequenos defeitos, como orifícios decorrentes de bolhas de ar que se formam durante o enchimento dos moldes (figura 4.10), faz-se a sua correção enchendo com uma pequena quantidade de Petramix. Estes pequenos defeitos geralmente não têm relevância na resistência da peça, sendo por isso a correção realizada por efeitos estéticos.



Figura 4.10 - Exemplo de defeito causado pelo enchimento do molde.

e) Armazenamento e transporte

Durante a cura dos painéis, é fundamental que estes não sejam submetidos a qualquer tipo de cargas. Estes devem ser armazenados com especial cuidado, uma vez que na sua fase de maturação inicial se encontram bastante sensíveis a deformações. Devem ser armazenados numa superfície estável e protegidos nos pontos de contacto da superfície, no caso em estudo, são suportados sobre tiras de poliestireno, que além disso garantem o afastamento das peças relativamente ao chão, promovendo uma melhor circulação do ar (figura 4.9).

Decorrida a cura de 14 dias, os painéis são colocados em paletes (figura 4.11), de maneira a serem transportados. Novamente, são protegidas as suas superfícies de contacto, para que não sejam danificados.



Figura 4.11 - Armazenamento dos painéis em paletes

4.3. ESCOLHA E RECEÇÃO DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO

Segundo a norma NF P 65-202 «DTU 55.2» [29], a escolha do sistema de fixação a ser utilizado deve ter em conta seis fatores fundamentais:

- A natureza do suporte que considera:
 - Parede sólida ou oca (provida de caixa de ar) e possibilidade de fixação (selagem, etc.);
 - As variações dimensionais próprias do suporte (fluência, retração, etc.) após a aplicação do revestimento;
- A eventual presença de isolamento: distância entre o apoio e o plano axial dos painéis de revestimento;
- Os esforços resultantes do próprio revestimento: peso próprio dos painéis e variações dimensionais de origem térmica;
- As características próprias de resistência e deformabilidade dos constituintes;
- A situação do revestimento:
 - Tipo de edifício e enquadramento no ambiente (zonas de vento e neve);
 - Zona onde é aplicado o revestimento (zonas de maior importância estrutural);
 - Pontos singulares;
- O tipo de revestimento, que deve conciliar o risco de corrosão da fixação com o tipo de juntas a utilizar (abertas ou não).

O metal utilizado para as fixações dos painéis em Petramix deve ser inoxidável, de acordo com a norma EN 10088, sendo o aço inoxidável 304 o escolhido para o efeito.

A fixação dos painéis é feita, como referido em 3.4.2, através de uma pata mecânica cuja grande vantagem é a regulação da distância do suporte ao plano do revestimento, permitindo assim adaptar as espessuras de isolamento e caixa-de-ar consoante a situação. Esta pata mecânica é produzida pela empresa Europofix e encontra-se homologada pelo LNEC, podendo o seu documento de homologação ser consultado no *website* deste laboratório. Apresenta-se ainda no anexo B o catálogo com as características referentes a este modelo comercializado pela empresa Europofix.

Para cada obra, os elementos de fixação previamente encomendados à empresa Europofix vão sendo recebidos consoante as quantidades a utilizar na obra a curto prazo, isto é, nunca é recebida a totalidade dos elementos a utilizar na obra. Isto deve-se a questões logísticas e de faturação, uma vez que a S.P.I. (empresa parceira da Stonemix) não pode faturar uma encomenda sem que os elementos sejam aplicados na construção. Uma vez recebidos os elementos a utilizar a curto prazo, é feita a verificação das suas condições pelo encarregado da obra e posteriormente armazenados em estaleiro até serem utilizados.

A conformidade com as normas de todos os elementos de fixação é garantida pela empresa que fabrica o aço como matéria-prima, sendo que a Europofix apenas faz a sua modelagem e comercialização.

4.4. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

A construção com Petramix caracteriza-se por ser bastante simples, partilhando das vantagens construtivas inerentes à pré-fabricação. Assim sendo, os processos de construção são abordados num contexto prático no capítulo 7.4 deste trabalho, uma vez que são aplicados da mesma forma em todas as obras.

5

AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DO DESEMPENHO

5.1. INTRODUÇÃO

Pretende-se neste capítulo definir quais são as exigências de desempenho aplicáveis num sistema de fachada ventilada e fazer uma avaliação do Petramix e do sistema completo com Petramix em conformidade com a regulamentação existente.

5.2. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO

A palavra “desempenho” é definida como o comportamento em uso do produto, caracterizando-se o facto de que este deve apresentar certas propriedades para cumprir a função proposta quando sujeito a determinadas influências ou ações durante o seu período de vida útil. [20]

Assim, a avaliação de desempenho de um produto implica definir quais as condições que este deve satisfazer quando submetido às condições normais de utilização e quais os métodos para avaliar se as condições foram atendidas.

5.2.1. DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA

Relativamente às exigências de desempenho, existem diversos documentos a considerar, que abrangem tanto o edifício de forma global, como a envolvente vertical opaca, nomeadamente: regulamentos, normas (ISO, NF, EN, NP, entre outras), especificações técnicas, diretivas, guias ou relatórios técnicos UEATc, guias EOTA e documentos de homologação. Estes documentos são abordados de maneira mais específica no capítulo 6 deste trabalho.

5.2.2. DEFINIÇÃO DAS EXIGÊNCIAS

Quadro 5.1 – Exigências segundo categorias.

Exigências de desempenho	Requisitos de desempenho
▪ Resistência mecânica e estabilidade	⇒ Estabilidade mecânica do suporte ⇒ Limitação das deformações ⇒ Resistência aos choques ⇒ Resistência ao vento

▪ Segurança contra incêndios	⇒ Reação ao fogo ⇒ Resistência ao fogo
▪ Higiene, saúde e ambiente	⇒ Aptidão para reutilização ⇒ Resistência ao enodoamento ⇒ Toxicidade dos materiais
▪ Segurança de utilização	⇒ Geometria das arestas ⇒ Incorporação de elementos de instalações ⇒ Conforto tátil
▪ Proteção acústica	⇒ Isolamento a sons de condução aérea ⇒ Reverberação sonora
▪ Comportamento higrotérmico e economia energética	⇒ Coeficiente de transmissão térmica ⇒ Resistência térmica ⇒ Pontes térmicas ⇒ Consumo de energia ⇒ Taxa mínima de ventilação
▪ Conforto visual	⇒ Planeza das superfícies ⇒ Verticalidade ⇒ Retidão das arestas ⇒ Regularidade e perfeição das superfícies
▪ Durabilidade	⇒ Durabilidade dos materiais ⇒ Resistência a erosão ⇒ Resistência a agentes climáticos ⇒ Resistência a produtos químicos do ar
▪ Manutenção e reparação	⇒ Facilidade de manutenção, reparação, conservação e limpeza ⇒ Transporte e armazenamento

a) Resistência mecânica e estabilidade

a.1) Estabilidade mecânica do suporte

Os elementos de revestimento não devem participar nas funções de transmissão de cargas verticais (às fundações), contraventamento, entre outras funções estruturais. Estas funções cabem ao suporte do sistema – a parede estrutural. [21]

A definição da espessura mínima do suporte consoante a solução de revestimento a adotar é feita segundo o DTU 20.1 [22], não devendo ser inferior a 20cm.

a.2) Limitação das deformações

Nos materiais da família do GRC, as principais propriedades usadas para estabelecer esforços limite de projeto são o limite à tração e a resistência à tração na rotura, aos 28 dias.

Na figura 3.15 retirada de [23], está representado o diagrama de tensão-deformação do GRC, aos 28 dias, quando submetido a carregamento de tração e de flexão. O limite elástico à tração (BOP – *Bend Over Point*) e o limite elástico à flexão (LOP – *Limit Of Proportionality*) são maioritariamente influenciados pela composição da matriz, mas também pela densidade do material, teor em polímeros

e procedimentos de cura. As propriedades das fibras de vidro – conteúdo, comprimento e orientação na matriz, são o fator de maior influência na resistência à tração na rotura (UTS – *Ultimate Tensile Strength*) e na resistência à flexão na rotura (MOR – *Modulus of Rupture*), tendo a densidade do composto e o conteúdo de polímeros também influência.

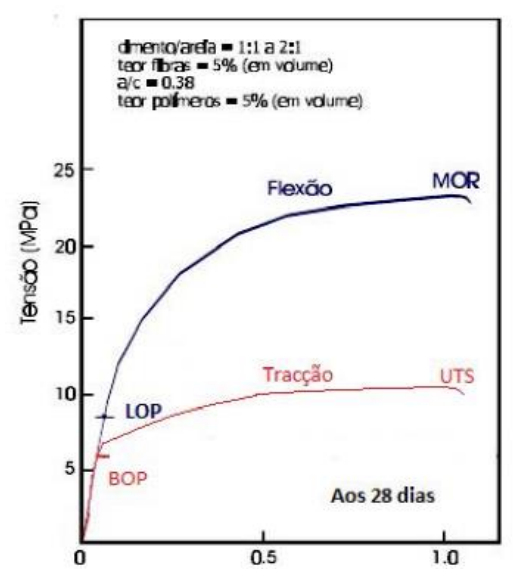


Figura 5.1 - Diagrama tensão-deformação do GRC, à flexão e tração

a.3) Resistência aos choques

Um sistema de revestimento de fachada deve conservar a sua performance, aspeto e comportamento durante o seu período de vida útil, quando submetido às situações de impacto accidental não excecional, e atividades humanas recorrentes. Esta exigência é satisfeita se um sistema resiste e conserva o seu desempenho perante os choques convencionais de impacto. [24]

Choques excecionalmente severos decorrentes de atos de vandalismo, choques accidentais de aparelhos, veículos ou cargas pesadas não são considerados.

Segundo a classificação reVETIR [25], a resistência aos choques é definida segundo o nível de acessibilidade – índice T, e o tipo de área exterior definido na norma francesa NF P08-302. Em 3.6 é melhor aprofundada esta classificação.

No CPT 3546 encontra-se em anexo a definição das energias de choque referentes à resistência do revestimento consoante as categorias de utilização, conforme indicado na imagem 3.16:

Q	Corps de choc	Parois difficilement remplaçables ⁵	Parois facilement remplaçables ⁵
Q1	M 50 M3 D 1 D 0,5	0 10 0 3 T_2	0 3 0 1 T_{1+}
Q2	M 50 M3 D 1 D 0,5	0 60 0 3	0 20 0 1
Q3	M 50 M3 D 1 D 0,5	300 60 0 3	100 20 0 1
Q4	M 50 M3 D 1 D 0,5	400 60 10 0 T_4	130 20 3 0 T_3
Sont indiqués les niveaux équivalents T extraits du classement reVETIR des systèmes d'isolation thermique des façades par l'extérieur (Cahier du CSTB 2929 de décembre 1996).			

Figura 5.2 - Energia de choque (em Joules) segundo os índices Q e T [24]

a.4) Resistência ao vento

No que se refere às ações variáveis, o vento torna-se das mais relevantes. A consideração desta ação em projeto deve ter em consideração a localização geográfica do edifício, a área e a forma do edifício sujeita à ação e a proteção oferecida pelos edifícios circundantes, obtendo-se assim os valores de cálculo para as pressões internas e externas a que o edifício é sujeito.

A fachada deve apresentar resistência suficiente aos esforços de pressão, depressão, ação dinâmica e vibração causados pelo vento. Em 5.2.3. faz-se a referência ao índice V da classificação reVETIR que aborda mais detalhadamente esta exigência.

b) Segurança contra incêndios

Na avaliação do risco de incêndio tem-se em consideração duas classificações dos materiais constituintes de um sistema: a reação ao fogo e a resistência ao fogo.

b.1) Reação ao fogo

A reação ao fogo é o comportamento face ao fogo dos materiais de construção, em termos do seu contributo para a origem e desenvolvimento de um incêndio.

Na avaliação da reação ao fogo dos materiais, estes são distribuídos consoante a sua tipologia pelos grupos:

- Grupo A – materiais flexíveis, com espessura inferior a 5mm, aplicados sem ligação direta sobre um elemento de suporte;
- Grupo B – materiais flexíveis, com espessura superior a 5mm, aplicados sem ligação direta sobre o suporte;
- Grupo C – pinturas e revestimentos de paredes e tetos, sobre o elemento do suporte;
- Grupo D – revestimentos de piso assentes sobre o elemento de suporte.

Na especificação do LNEC, a classificação dos materiais consoante a reação ao fogo é feita em cinco categorias, de M0 a M4, sendo os materiais M0 os não-combustíveis e M1, M2, M3 e M4 materiais com grau crescente de combustibilidade. Segundo esta especificação, para edifícios de altura inferior a 28 metros as camadas externas da fachada devem ser projetadas com materiais de classe M2 e, para edifícios com altura superior a 28 metros, devem ser utilizados materiais da classe M0.

Atualmente a classificação mais frequentemente usada tem por base a norma EN 13501, cuja classificação é feita em seis categorias, A1 para materiais não-combustíveis, A2, B, C, E e F com grau crescente de combustibilidade. No quadro 5.2 (adaptado de [7]) apresenta-se a correspondência entre esta classificação e a do LNEC.

Quadro 5.2 - Conversão da classificação ao fogo

Produtos de construção – Exceto pavimentos			
Reação ao fogo	Produção de fumo	Produção de gotas ou partículas	Exigências do LNEC
A1	-	-	M0
A2	s1	d0	M0
	s2	d1	M1
	s3	d2	
B	s1	d0	M1
	s2	d1	
	s3	d2	
C	s1	d0	M2
	s2	d1	
	s3	d2	
D	s1	d0	M3
	s2	d1	M4
	s3	-	(não gotejante)
E - F	-	-	M4

b.2) Resistência ao fogo

O comportamento face ao fogo, dos elementos de construção, considerado em termos da manutenção das funções que devem desempenhar em caso de incêndio, segundo o Decreto-Lei nº 239/86 de 19 de Agosto, caracteriza-se por um indicador denominado “resistência ao fogo” de um material, que se avalia, em geral, pelo tempo que decorre desde o início de um processo térmico normalizado a que um elemento é submetido, até ao momento em que ele deixa de satisfazer determinadas exigências (estabilidade, estanquidade e isolamento térmico) relacionadas com as suas funções [26].

A classe resistente de um elemento é dada pela simbologia que representa a qualificação atribuída, acompanhada da indicação do escalão de tempo em que é válida a qualificação atribuída. As qualificações consideradas são as seguintes:

- Classe R (EF – Estável ao fogo) – aplicável a elementos aos quais se exigem apenas funções de suporte;
- Classe E (PC – Pára-chamas) – aplicável a elementos de compartimentação, no que respeita à estanquidade;
- Classe EI (CF – Corta-fogo) – aplicável a elementos com funções de compartimentação, no que respeita à estanquidade e isolamento térmico.

Os escalões de tempo a utilizar são, em minutos: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360, correspondendo o número ao limite inferior do intervalo em que cada escalão se insere.

c) Higiene, saúde e ambiente

c.1) Resistência ao enodoamento

Os revestimentos utilizados não devem potenciar a fixação de poeiras ou micro-organismos. Não devem ser excessivamente ásperos ou pegajosos, com especial atenção para os que devido às suas características ou orientação sejam mais expostos à poluição atmosférica ou a poeiras transportadas pelo vento e também que não usufruam de condições favoráveis à sua autolavagem pela água da chuva. No ITE 25 [27] a classificação dos materiais é feita consoante a sua resistência ao enodoamento por produtos químicos e distribuída pelas classes C0 a C3, sendo que no caso da resistência ao enodoamento por poeiras é distribuída pelas classes 1 a 9.

c.2) Aptidão para reutilização

Os revestimentos devem ter aptidão para reutilização. Devem ser indicadas quais as possibilidades para a sua reutilização após serem removidos do sistema.

c.3) Toxicidade dos materiais

Os materiais utilizados não devem ser propícios à libertação de compostos orgânicos voláteis e escorrências tóxicas associadas. Os produtos de limpeza utilizados nos revestimentos não devem ser suscetíveis de alterar o ambiente que os rodeia. [7]

d) Segurança de utilização

d.1) Geometria das arestas

Os revestimentos não devem originar condições de riscos ou de insegurança para os utilizadores dos edifícios, como tal, não devem apresentar saliências localizadas, arestas cortantes em zonas de circulação que possam causar ferimentos.

d.2) Incorporação de elementos de instalações

Em determinados casos os revestimentos em sistema de fachada ventilada devem permitir a incorporação de vários sistemas que permitem saneamento, abastecimento de água, eletricidade e outros sistemas de um modo eficaz e sem prejudicar a utilização normal do edifício.

d.3) Conforto tátil

O conforto tátil baseia-se na relação do utilizador com as faces dos sistemas, em que as suas características mais preponderantes são a rugosidade, irregularidades na superfície e existência de arestas vivas e de zonas pegajosas.

A verificação do cumprimento desta característica deve ser feita através dos desenhos de pormenor ou da observação *in situ*.

e) Proteção acústica

e.1) Isolamento a sons de condução aérea

No Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [28] define-se que as fachadas devem cumprir os valores mínimos do “Isolamento sonoro a sons de condução aérea” normalizado ($D_{2m, n, w}$).

O índice $D_{2m, n, w}$ entre o exterior do edifício e os locais recetores (definidos no D.L. 96/2008 [28] e distintos consoante a função) deverá satisfazer as condições definidas no Quadro X:

Quadro 5.3 - Índices mínimos de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, $D_{2m, n, w}$

Locais recetores	Índice
Edifícios habitacionais, mistos, escolares, de investigação, de leitura ou hospitalares	$D_{2m, n, w} \geq 33\text{dB}$ em zonas mistas $D_{2m, n, w} \geq 28\text{dB}$ em zonas sensíveis
Edifícios comerciais, de serviços ou industriais	$D_{2m, n, w} \geq 30\text{dB}$

Em acústica, apenas com a realização de medições *in situ* é possível quantificar com rigor o desempenho das soluções adotadas. No entanto, é possível quantificar em projeto os diferentes parâmetros acústicos com base em fórmulas e ábacos resultantes de modelos numéricos ou experimentais.

As fachadas apresentam uma composição heterogénea, sendo constituídas por elementos com diferentes índices de isolamento sonoro. O índice $D_{2m, n, w}$ depende da área e da capacidade de isolamento de cada um dos elementos que a compõem.

Assim, em fase de projeto, o cálculo deste índice pode ser definido em função do fator de transmissão sonora médio, τ_m , segundo o seguinte:

$$D_{2m, n, w} = 10 \times \log \frac{1}{\tau_m} \quad (5.1)$$

Sendo:

$$\tau_m = \frac{\sum_i \tau_i \cdot S_i}{\sum_i S_i} \quad (5.2)$$

$$\tau_i = \frac{1}{10^{R_i/10}} \quad (5.3)$$

$$R_i = 20,4 \times \log m_i - 1,5 \quad (5.4)$$

Em que:

τ_m – Fator de transmissão sonora médio

τ_i – Fator de transmissão sonora de cada uma das parcelas

S_i – Área de cada um dos elementos

m_i – Massa de cada um dos elementos (kg/m^2)

R_i – Índice de isolamento sonoro de cada um dos elementos (dB)

A massa dos elementos constituintes dos sistemas utilizados, assim como a área dos vãos envidraçados, são os principais fatores que intervêm no resultado final.

Uma vez que o sistema em estudo prevê sempre uma lâmina de ar fortemente ventilada só deverá ser contabilizada a massa dos elementos após a lâmina de ar, ou seja, os que constituem o subsistema suporte. O revestimento exterior independente, apesar de não ser incluído no cálculo em fase de projeto, poderá beneficiar o resultado final, sendo isto verificado *in situ*. [29]

e.2) Reverberação sonora

Em edifícios de habitação ou de serviços, o desempenho acústico interior é um aspeto fundamental para a funcionalidade do edifício. O som que é refletido de volta para um compartimento do edifício é referido como som de reverberação e é associado à grandeza T, o tempo de reverberação.

O tempo de reverberação, T, é definido no Decreto-Lei nº96/2008 como “intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial”. Neste decreto-lei são definidos os valores máximos segundo a função do edifício.

f) Comportamento higrotérmico e economia energética

f.1) Coeficiente de transmissão térmica e resistência térmica

As perdas de calor por transmissão térmica através da envolvente do edifício afetam significativamente o desempenho térmico do edifício. O indicador mais relevante a utilizar na avaliação da transmissão térmica é o coeficiente de transmissão térmica, U [$\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$], de um elemento da envolvente.

Segundo o Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril, RCCTE, o coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente (U) é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa [30]. A expressão para o seu cálculo é a seguinte:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (5.5)$$

Em que:

U – Coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$];

R_{si} – Resistência térmica superficial interior [$(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$];

R_j – Resistência térmica da camada j [$(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$];

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior [$(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$].

O valor da resistência térmica de um elemento obtém-se através da razão da sua espessura pelo valor da sua condutibilidade térmica, λ . Consultando bibliografia da especialidade, como o caso da publicação do LNEC – *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios* [31], é possível encontrar os valores da resistência térmica referentes a vários materiais correntes de construção.

f.2) Pontes térmicas

A constante necessidade de melhoria da performance térmica dos edifícios levou a uma redução do coeficiente de transmissão térmica através do aumento das espessuras das camadas de isolamento. Estas mudanças têm influência na resistência mecânica e na estabilidade das estruturas de apoio e dos componentes, mais especificamente, os efeitos do peso próprio e a profundidade dos elementos de revestimento dos sistemas. Como tal, a melhoria do desempenho térmico, em termos de transmissão térmica, deve ser orientada para a estanquidade ao ar e para as pontes térmicas, ao invés do constante aumento da espessura da camada de isolamento.

Segundo as normas ISO [32] uma ponte térmica é definida como toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada em relação à zona corrente. Estas zonas têm características, ao nível da resistência térmica, inferiores à da restante envolvente do edifício, levando assim à ocorrência de perdas localizadas de calor superiores.

Pode ser consultada no anexo II do RCCTE [30] informação mais detalhada sobre este tema, salientando-se aqui o caso dos sistemas pré-fabricados, em que a pormenorização das zonas de ligação é fundamental, pois é nestas zonas onde se verifica a maior ocorrência de pontes térmicas.

f.3) Consumo de energia

Um dos fatores mais significativo para o desempenho energético de um edifício é o desempenho térmico da sua envolvente, sendo a sua melhoria conseguida através da redução dos meios de perda de calor. Como já foi referido estes meios são sobretudo: perdas através de pontes térmicas, transmissão térmica através das camadas e a estanquidade ao ar nas juntas do sistema de fachada.

O conforto térmico deve ser assegurado em projeto com uma correta escolha do sistema de revestimento, devendo-se também garantir a eficiência energética do edifício, tendo em conta as características de clima onde o edifício se encontra. O conforto térmico é normalmente assegurado para temperaturas entre os 20°C e os 25°C e humidades relativas na ordem dos 30% a 60% [7].

Durante os meses quentes, as fontes de calor originadas no exterior possuem uma maior intensidade do que as fontes interiores, levando a que o ótimo desempenho térmico dos sistemas de revestimento ocorra quando estes oferecem um entrave ao fluxo de calor do exterior para o interior. Durante os meses frios, ou seja, nos meses de aquecimento, é necessário garantir que as fontes de calor originadas no interior do edifício (sistemas de aquecimento, pessoas, etc.) não atravessem a envolvente.

f.4) Taxa mínima de ventilação

A taxa mínima de ventilação, definida no RCCTE como “taxa de renovação do ar” é o caudal horário de entrada de ar novo num edifício para renovação do ar interior. De maneira a otimizar o consumo energético é necessário que esta renovação de ar se dê preferencialmente através da ventilação natural, evitando assim a necessidade de recorrer a dispositivos de ventilação mecânica consumidores de energia elétrica.

A ventilação natural pode ocorrer de duas formas: pelo efeito da pressão do vento e pelas forças de convecção provocadas naturalmente por entradas e saídas de ar a diferentes níveis colocadas nas construções. A ventilação originada pelo vento dá-se através da entrada do ar através de aberturas na fachada com pressão positiva e posterior saída pelas aberturas em zona de pressão negativa. O efeito das forças de convecção, também denominado por efeito chaminé, é caracterizado pela entrada de ar pelas aberturas inferiores e saída pelas aberturas superiores.

Os fatores que influenciam a taxa de ventilação necessária são o número de pessoas por metro cúbico, o tipo de utilização do edifício e o tipo de divisão em causa. É necessário ter precaução na escolha do tipo de janelas e aberturas a utilizar, uma vez que podem surgir pontos fracos de penetração de ruído, sendo assim necessário estudar as áreas de ventilação tendo em conta os níveis de ruído no ambiente do edifício.

g) Conforto visual

No ITE 25 [27] são definidos parâmetros de conforto visual que os revestimentos de fachada devem cumprir, relativamente a: planeza, verticalidade, retidão das arestas e regularidade e perfeição das superfícies.

g.1) Planeza das superfícies

As paredes devem apresentar planeza geral e localizada satisfatória, estabelecendo-se limites admissíveis para as flechas.

A verificação desta condição deve ser feita *in situ* com recurso a régua de 2m e de 0,20m, sendo as flechas admissíveis $<19\text{mm}$ e $\leq 2\text{mm}$ respetivamente.

g.2) Verticalidade

Relativamente à verticalidade das paredes, esta deve ser quase perfeita. Isto é verificado com a utilização *in situ* através de um fio-de-prumo, em que o desvio máximo admissível para uma parede com altura de 3m é de 1cm.

g.3) Retidão

As arestas verticais e horizontais dos revestimentos de paredes devem desenvolver-se segundo uma linha reta. É feita uma quantificação do desvio da linha da aresta relativamente à sua linha média. Estes desvios devem ser limitados de maneira a serem impercetíveis, geralmente iguais ou inferiores a 5mm.

g.4) Regularidade e perfeição das superfícies

As superfícies dos revestimentos não devem apresentar defeitos ou irregularidades, tais como reentrâncias, saliências localizadas, fissuras, empolamentos, descolamentos ou pulverulência. Através de um exame visual deve ser verificada que a textura da superfície é regular e uniforme e que a largura de eventuais fissuras em zona corrente é inferior a 0,2mm [27].

h) Durabilidade

h.1) Durabilidade dos materiais

A durabilidade de um revestimento corresponde ao período de tempo durante o qual mantém as suas performances e desempenho, em condições normais de utilização e de conservação.

Uma vez que o sistema de fixação normalmente não é acessível para manutenção periódica, a durabilidade deste deve ser idêntica à do suporte.

Segundo o ITE 25 [27], para revestimentos descontínuos exteriores de fachada, a durabilidade exigida é de, no mínimo, 50 anos.

Assim, para que as performances se mantenham dentro do período de durabilidade previsto, é necessário que os revestimentos:

- Resistam satisfatoriamente aos agentes que sobre eles atuam em condições de utilização normal;
- Sejam objeto de conservação periódica;
- Resistam às operações inerentes ao processo de conservação.

h.2) Resistência aos agentes climáticos

A resistência dos revestimentos a agentes climáticos é quantificada, segundo o ITE 25, pelo número de ciclos e períodos de exposição a estes agentes que o revestimento resiste sem se deteriorar [27], sendo os agentes: as ações do calor, do frio, da água da chuva, da iluminação solar e dos choques térmicos.

Sendo difícil o estabelecimento de um ensaio convencional que permita simular a atuação simultânea dos vários agentes climáticos em condições naturais, estão previstos alguns ensaios que permitem a simulação isolada ou combinada de duas ações:

- Ciclo de gelo-degelo para determinar a resistência mecânica dos revestimentos a este tipo de ações;
- Ciclos de aquecimento para determinar a resistência dos revestimentos às variações de temperatura;
- Choque térmico que determina a resistência do revestimento a variações bruscas de temperatura superficial;
- Exposição a radiações ultra violetas para determinar a resistência ao envelhecimento e a eventuais desagregações, assim como a estabilidade das cores perante o efeito da luz solar;
- Permeabilidade à água para determinar a estanquidade do revestimento após ter sido submetido aos ensaios anteriores.

h.3) Resistência aos produtos químicos do ar

O ambiente onde se aplicam os revestimentos exteriores possui diversos elementos químicos a que estes devem resistir sem sofrer deterioração. Estes elementos podem ser constituintes da própria atmosfera – oxigénio, azoto, dióxido de carbono, dióxido de azoto, ou outros produtos contaminantes – dióxido e trióxido de enxofre, sais dissolvidos na água.

Um material de revestimento pode apresentar diferenças de durabilidade consoante o ambiente em que é aplicado, seja um ambiente marítimo, industrial, urbano ou rural.

Para determinar a resistência do material, são realizados ensaios para cada tipo de agente químico em que seja provável a sua presença no ar (exposição superior a 1000h).

i) Montagem, manutenção e reparação

i.1) Facilidade de manutenção, reparação, conservação e limpeza

Relativamente à manutenção e reparação do sistema, este deve ser avaliado segundo a classificação reVETIR [25], utilizando-se o índice “e” e “r” respetivamente para a manutenção e para a reparação.

Os elementos de revestimento devem também ser de fácil limpeza, sem ser necessário recurso a produtos tóxicos, corrosivos ou inflamáveis. Esta deve também ser realizada de maneira a causar o mínimo de incómodo aos utilizadores do edifício.

O fabricante do sistema deve fornecer documentação com as indicações para estes processos.

i.2) Transporte e armazenamento

O transporte dos elementos deve ser adequado às suas características de dimensão, forma e peso, de maneira a não causar dano nos materiais e a fazer-se de forma eficiente para evitar atrasos e eventuais acidentes no decorrer da obra.

O fabricante deve ainda dar indicação das condições necessárias ao armazenamento dos produtos e definir o período máximo de armazenamento sem que haja alteração das características dos mesmos.

5.2.3. CLASSIFICAÇÃO reVETIR

A classificação reVETIR [25] permite indicar os principais desempenhos dos sistemas tradicionais ou não, destinados a isolamentos térmicos e revestimentos da envolvente exterior dos edifícios. De uma maneira geral é uma classificação semelhante ao ISOLE que não se foca exclusivamente no isolamento térmico.

Esta classificação visa apenas sistemas de fachada com isolamento pelo exterior em que a resistência térmica é igual ou superior a $0,5\text{m}^2\cdot^\circ\text{K}/\text{W}$ e divide-se em dois grupos de características:

- Grupo 1: referente às características “r” e “e”, onde se avalia a conservação;
- Grupo 2: referente às restantes características “V”, “E”, “T”, “I” e “R”, onde se avalia a aptidão de utilização em diferentes circunstâncias.

As características avaliadas são então os seguintes:

- r – reparação (facilidade de reparação ou substituição);
- e – manutenção (frequência de manutenção);
- V – Vento (resistência aos efeitos do vento);
- E – Estanquidade (estanquidade à água);
- T – Resistência aos choques (choques e punçoamento);
- I – Incêndio (comportamento ao fogo);
- R – Resistência térmica.

A cada característica é atribuído um índice em função do desempenho verificado e comprovado por resultados de ensaios normalizados. Na eventualidade de um elemento não obter um valor mínimo para ser classificado em qualquer uma das sete características, então esta classificação não poderá ser usada.

a) Reparação (r)

Este critério caracteriza-se pela facilidade de reparar ou substituir atempadamente os elementos do sistema de revestimento.

Em fachadas com revestimento descontínuo é admissível que um painel substituído possua uma tonalidade um pouco diferente, tendo em conta o envelhecimento dos restantes painéis não substituídos. No caso de o revestimento ser contínuo, é necessária uma pintura sobre uma zona mais ampla que aquela que foi reparada, a fim de homogeneizar a tonalidade da fachada.

O subsistema revestimento é então classificado consoante a facilidade de reparação segundo uma das seguintes classes [25]:

- r_1 - se a reparação é difícil e necessita de produtos ou componentes específicos do subsistema; Entende-se por reparação difícil uma reparação que exija a desmontagem de elementos não degradados próximos do ponto a reparar por uma empresa especializada;
- r_2 - se a reparação é fácil mas necessita de produtos ou componentes específicos do subsistema ou se a reparação é difícil mas pode ser efetuada com produtos correntes no mercado;
- r_3 - se a reparação é fácil e pode ser realizada com produtos correntes no mercado mas necessita, face à continuidade do sistema e do seu aspeto, de intervenção além da zona a reparar;
- r_4 - se a reparação é fácil e pode ser realizada com produtos correntes no mercado e sem necessitar de intervenção além da zona a reparar.

b) Manutenção (e)

Este critério tem em conta o trabalho de manutenção necessário para garantir a durabilidade do sistema (pintura, substituição do revestimento, etc). Não é considerado o trabalho de manutenção estético, como lavagem da fachada ou tratamento anti-fúngico.

Os diferentes níveis de classificação referem-se à frequência de manutenção da camada exterior, realizada sem desmontagem ou remoção do sistema completo.

O subsistema é classificado segundo uma das quatro classes [25]:

- e_1 – se necessitar de intervenções com intervalos curtos de tempo (3 a 10 anos);
- e_2 – se necessitar de intervenções com intervalos normais de tempo (8 a 20 anos);
- e_3 – se o subsistema for suscetível de não necessitar de intervenção, mas o seu aspeto não for conservado (mesmo após lavagem) ou se apenas necessitar de intervenções com intervalos longos de tempo (mais de 15 anos);
- e_4 - se o aspeto se conservar sem necessidade de intervenções ou lavagens periódicas.

Note-se que a periodicidade de manutenção é função não só do sistema, mas também da sua exposição às condições climáticas e ao meio ambiente, sendo que o tempo especificado depende da gravidade da exposição.

c) Vento (V)

De acordo com os níveis mínimos de resistência ao vento (especificados no DTU “Règles NV 65”) e considerando os níveis de pressão e de depressão, o subsistema é classificado conforme no quadro 5.4.

Quadro 5.4 - Níveis de pressão e depressão em Pascal

Classe	Pressão superior a (Pa)	Depressão superior a (Pa)
V ₁	510	640
V ₂	910	1140
V ₃	1280	1600
V ₄	1790	2235

d) Estanquidade (E)

Relativamente à estanquidade à água da chuva, o subsistema é classificado segundo as seguintes classes:

- E₁ – se o subsistema não puder evitar que a água da chuva alcance a parede de suporte;
- E₂ – se o subsistema é capaz de se opor ao encaminhamento da água da chuva até ao suporte;
- E₃ – se subsistema incorporar na lâmina de ar dispositivos de recuperação e evacuação das águas infiltradas de modo a que a água eventualmente infiltrada não provoque alterações no sistema;
- E₄ – se o subsistema compreender um revestimento estanque à água e dispositivos na câmara-de-ar que permitam a recuperação e evacuação das águas eventualmente infiltradas.

Geralmente, não são necessários ensaios para determinar esta classificação quando o sistema utilizado é corrente ou conhecido, no entanto, para o caso de novos sistemas ou sistemas desconhecidos poderá ser necessária a realização de ensaios.

e) Resistência aos choques (T)

Os níveis de resistência aos choques são definidos segundo duas variáveis: a massa do corpo de choque e a energia do choque. Os ensaios de resistência aos choques são definidos na norma NF P 08-301. As classes correspondentes a este critério são as seguintes:

- T₁ – se resistir ao choque de corpo duro de 0,5kg/0,35J e ao choque de corpo mole de 3kg/3J;
- T₁₊ – se resistir ao choque de corpo duro de 0,5kg/1J e ao choque de corpo mole de 3kg/3J;
- T₂ – se resistir ao choque de corpo duro de 0,5kg/3J e ao choque de corpo mole de 3kg/10J;
- T₃ – se resistir ao choque de corpo duro de 0,5kg/3J, ao choque de corpo mole de 3kg/20J e ao choque de corpo mole de 50kg/130J;
- T₄ – se resistir ao choque de corpo duro de 1kg/10J, ao choque de corpo mole de 3kg/60J e ao choque de corpo mole de 50kg/400J.

f) Comportamento ao fogo (I)

A classificação segundo este critério considera o sistema completo de fachada ventilada e não apenas o revestimento exterior, admitindo-se a possibilidade do isolamento térmico ser atingido pelo fogo.

A sua classificação é feita da seguinte forma:

- I₁ – se pertencente à classe A2 (d2), B (d2), C (d2), D (d2) ou E – M4 na especificação do LNEC;
- I₂ – se pertencente à classe D (d0 ou d1) – M2 na especificação do LNEC;
- I₃ – se pertencente à classe A2 (d0 ou d1), B (d0 ou d1) ou C (d0 ou d1) – M2 ou M1 na especificação do LNEC;
- I₄ – se pertencente à classe A1 ou A2 (S1/d0) – M0 na especificação do LNEC.

g) Resistência térmica (R)

Tal como no comportamento ao fogo, este critério considera o sistema completo, sendo a sua classificação a seguinte:

- R₁ – se $0,5 \leq R < 1 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- R₂ – se $1 \leq R < 2 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- R₃ – se $2 \leq R < 3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- R₄ – se $R \geq 3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

5.3. NORMAS APLICÁVEIS AOS ELEMENTOS E MATERIAIS CONSTITUINTES

Neste subcapítulo são indicadas as normas a que obedecem os produtos/elementos envolvidos num sistema de fachada ventilada com painéis de Petramix. Destacam-se aqui apenas as normas que se destinam exclusivamente a um elemento do sistema, sendo as restantes referidas no próximo subcapítulo.

Os painéis, após serem fabricados são classificados relativamente à classe de exposição ambiental segundo a norma NF EN 206/CN – “*Béton - Spécification, performance, production et conformité - Complément national à la norme NF EN 206*”. Esta norma aplica-se a elementos constituintes de betão pré-fabricados ou não e possui versão portuguesa equivalente – NP EN 206-1.

A classificação é feita consoante o quadro 5.5.

A classificação é dividida por classes consoante o ambiente de exposição (ver quadro 6.5):

- X0: Sem risco de ataque ou corrosão;
- XC: Corrosão induzida por carbonatação;
- XD: Corrosão induzida por cloretos não provenientes da água do mar;
- XS: Corrosão induzida por cloretos provenientes da água do mar;
- XF: Ataque pelo gelo/degelo;
- XA: Ataque químico.

Os painéis Petramix enquadram-se no intervalo de classes XC1 a XC4 e XF1.

Quadro 5.5 - Classes de exposição ambiental [33]

Classe	Descrição do ambiente
X0	Betão sem armadura ou elementos metálicos embebidos: todas as exposições exceto em situação de gelo/degelo, abrasão ou ataque químico
XC1	Seco ou permanentemente húmido
XC2	Húmido, raramente seco
XC3	Humidade moderada
XC4	Alternadamente húmido e seco
XD1	Humidade moderada
XD2	Húmido, raramente seco
XD3	Alternadamente húmido e seco
XS1	Exposto ao sal transportado pelo ar mas não em contacto direto com a água do mar
XS2	Permanentemente submerso
XS3	Zonas sujeitas aos efeitos das marés, da rebentação e da neblina marítima
XF1	Saturação moderada em água ou moderado número de ciclos gelo/degelo, sem produto descongelante
XF2	Saturação moderada em água ou moderado número de ciclos gelo/degelo, com produto descongelante
XF3	Saturação elevada em água, sem produtos descongelantes
XF4	Saturação elevada em água, com produtos descongelantes ou com água do mar

Os painéis Petramix obedecem ainda à norma FD CEN TR 15739 – “*Produits préfabriqués en béton - Surface et parements de béton - Éléments d'identification*” referente aos requisitos de aspeto visual de produtos pré-fabricados.

O sistema de fixação utilizado em conjunto com o Petramix, fabricado pela Europofix, está sujeito à norma europeia EN 10088 que define as propriedades físicas e químicas de materiais em aço inoxidável e possui ainda homologação do LNEC: Documento de Homologação nº 921.

O isolamento que é de lã mineral em quase todos os projetos em que se utiliza o Petramix, obedece à norma francesa NF EN 13162 – “*Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en laine minérale (MW) – Spécification*” que especifica as exigências que este material deve satisfazer. No caso de ser necessária a utilização de outros materiais, as especificações devem obedecer às seguintes normas:

- Poliestireno expandido moldado (EPS) – norma EN 13163;
- Poliestireno expandido extrudido (XPS) – norma EN 13164;
- Espuma rígida de poliuretano (PUR) – norma EN 13165;
- Espuma fenólica – EN 13166.

5.4. NORMAS APLICÁVEIS AO SISTEMA

O sistema de fachada ventilada com painéis de Petramix é fundamentalmente assente na norma NF P 65-202-1 (DTU 55.2) [34]. De uma maneira geral, esta norma define cláusulas técnicas a serem cumpridas em painéis de revestimentos de fachada em pedra, derivados de pedra e outros materiais. Define ainda exigências para elementos decorativos.

No Ponto 4.1.2 desta norma são definidas as características dimensionais dos painéis de revestimento, em que:

A espessura mínima do painel deve ser em qualquer ponto superior aos seguintes valores:

- Em zona corrente da fachada:
 - 27 mm;
 - 20 mm para peças que se encontram a uma altura superior a 6 metros de qualquer superfície;
- Em zona abaixo da cota da soleira:
 - 40 mm para uma resistência na zona da fixação superior a 1000 N;
 - 30 mm para uma resistência na zona de fixação superior a 1500 N.

Os painéis Petramix possuem uma espessura mínima de cerca de 40 mm em qualquer ponto, satisfazendo assim estas condições.

No ponto 5 da norma são definidas as disposições construtivas dos elementos constituintes do sistema de fachada ventilada.

Relativamente às paredes de suporte, estas são separadas em alvenaria e betão. Uma vez que o Petramix só é aplicado em paredes de betão, estas devem obedecer às características e tolerâncias definidas no DTU 21 e DTU 23.1 conforme indicado no DTU 55.2.

Relativamente ao isolamento térmico, este deve ser composto por elementos pré-fabricados rígidos ou semi-rígidos, fixados na parede de suporte mecanicamente ou por colagem de maneira a não existir espaço de ar entre estes e a parede de suporte.

No que concerne ao sistema de fixação é indicado que este deverá ser em aço inoxidável do tipo X5 CrNi 18 e deverá possuir um *Avis Technique* próprio. São ainda definidas no ponto 7.1 as características a que devem obedecer os elementos de fixação, nomeadamente no caso de patas mecânicas e pernos de varão nervurado.

É definido no ponto 7.2 do DTU 55.2 que a caixa-de-ar será sempre de, pelo menos, 2 cm de espessura.

É também indicado que, de modo a permitir deformações dos painéis, as juntas devem permanecer abertas ou ser preenchidas com mástique flexível. As juntas podem ainda ser preenchidas com argamassa, mas nunca nos casos em que os edifícios têm altura inferior ou igual a 28 metros, em que painéis de revestimento sejam de dimensão inferior ou igual a 1 m² ou ainda em casos em que a maior dimensão do painel seja igual ou inferior a 1,40 m. A dimensão das juntas variará sempre entre 25 e 60 milímetros conforme o caso.

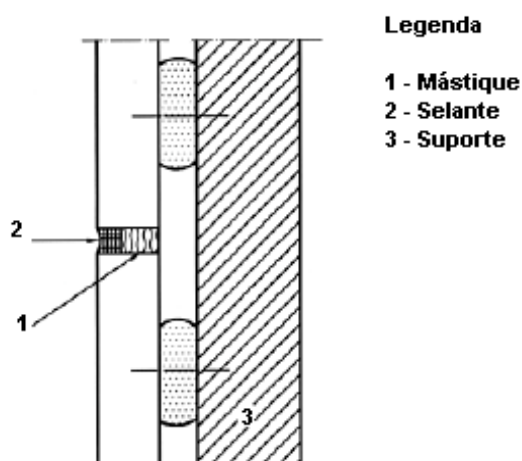


Figura 5.3 - Exemplo de junta fechada. Adaptado de [34]

No anexo desta norma apresentam-se ainda os critérios de dimensionamento dos painéis de revestimento, assim como do sistema de fixação. As hipóteses de base são as seguintes:

As ações a considerar sobre painéis de revestimento vertical são:

- Cargas paralelas ao plano dos painéis: peso próprio dos mesmos;
- Cargas perpendiculares ao plano dos painéis: ação do vento, choques;
- Deformações impostas por: dilatação dos painéis, retração e fluência da parede de suporte.

Para o dimensionamento dos dispositivos de fixação, as cargas verticais (peso próprio) devem ser consideradas conforme a figura 6.4 e os princípios de repartição de cargas seguintes:

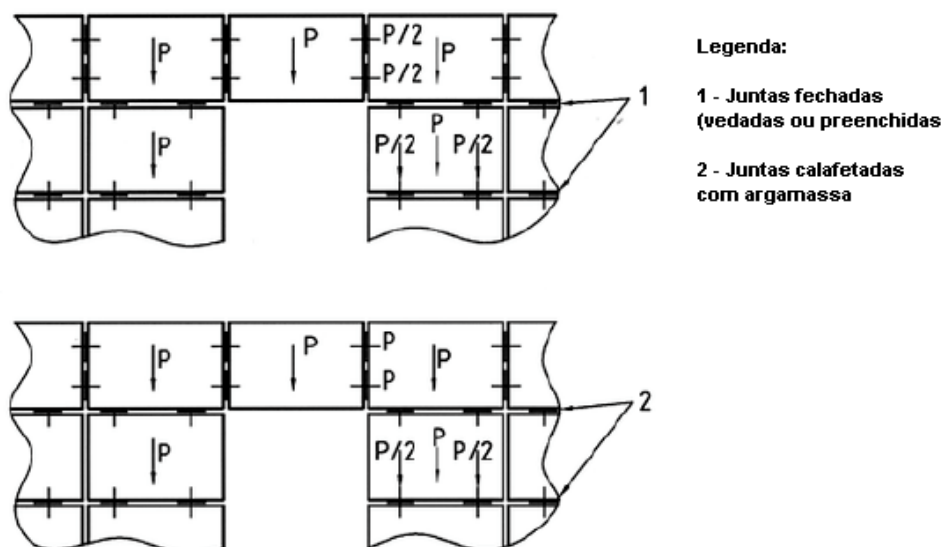


Figura 5.4 - Repartição das cargas. Adaptado de [34]

- Se as fixações são dispostas segundo as juntas horizontais cada elemento absorve $P/2$, em que P é o peso próprio do painel;
- Se as fixações são dispostas segundo as juntas verticais:
 - Se a junta horizontal diretamente inferior ao painel é fechada (vedada ou calafetada com mástique), admite-se por questões de simplificação de cálculo, que cada elemento de fixação absorve $P/2$, sendo P o peso próprio do painel;

- Se a junta horizontal diretamente inferior ao painel não é fechada, cada elemento de fixação é dimensionado de maneira a absorver P, em que P é o peso próprio do painel.

A resistência do painel na ligação com o sistema de fixação, de acordo com a norma NF B 10-514, deve ser superior ao maior dos 3 valores: $6/5 P$, 500 N, V.

Em que:

P é o peso próprio do painel:

$V = Q \times S$ (S - superfície do painel, Q - pressão do vento)

Relativamente às exigências de desempenho, na norma ISO 6241 são descritas exigências aplicáveis aos edifícios, sendo que algumas se aplicam diretamente ao sistema de revestimento, como já foram referidas no início deste capítulo.

Quanto à segurança contra incêndios, o sistema de revestimento com Petramix obedece aos requisitos referidos na norma europeia EN 13501-1 e é classificado na reação ao fogo segundo esta norma, como pertencente à classe A1 – não combustível.

5.5. FABRICAÇÃO

Relativamente à fabricação, de acordo com a norma EN 12467:

“O produtor deve estabelecer, documentar e manter um sistema CPF (controlo de produção em fábrica) que garanta que os produtos colocados no mercado estão conformes com as características de desempenho declaradas. Esse sistema CPF deve comportar procedimentos, inspeções periódicas e ensaios ou avaliações, e o uso dos resultados para controlar as matérias-primas e outros materiais ou componentes incorporados, equipamentos, bem como o processo produtivo e o produto.

Se o produtor tiver implementado um sistema de gestão da qualidade de acordo com a EN ISO 9001, considera-se que satisfaz os requisitos enumerados acima.”

Em conformidade com esta norma devem ser realizados ensaios de aceitação que incluem:

- Medição das dimensões – comprimento, largura e espessura;
- Medição da massa volúmica aparente;
- Medição das características mecânicas – resistência à flexão.

Os produtos não conformes devem ser separados e tratados de acordo com procedimentos documentados.

Para o Petramix, são controladas as dimensões para 1 em cada 10 painéis fabricados com o mesmo molde. A medição das características mecânicas é feita no início da produção para cada obra. Para medição de massa volúmica e outras características, é feita uma amostra de cada vez que se efetua a mistura dos componentes do Petramix, que é armazenada para posterior análise. É ainda feito um controle visual diário com base na experiência do encarregado de produção e são descartadas peças que não estejam em conformidade com o que é regulamentado.

5.6. ENSAIOS DE CONTROLO

Os ensaios de controlo são fundamentais para a avaliação do desempenho de qualquer material. Para o GRC e materiais semelhantes, existem os ensaios para o próprio material e os ensaios aplicáveis no enquadramento do sistema de fachada ventilada.

Para o material, a norma NP EN 1170 define métodos de ensaio para cimento reforçado com fibra de vidro. Os ensaios propostos por esta norma são os seguintes:

- Medição da consistência da matriz;
- Medição do teor de fibra no GRC fresco – ensaio de lavagem;
- Medição do teor de fibra no GRC projetado;
- Medição da resistência por flexão;
- Determinação da absorção de água por imersão e determinação da massa volúmica seca;
- Avaliação das variações dimensionais extremas em função do teor de água;
- Ensaio de envelhecimento de tipo cíclico.

Uma vez que o Petramix não é produzido por projeção, a medição do teor de fibra apenas poderá ser feita no material pré-misturado.

Dos referidos ensaios especificados nesta norma, a Stonemix só realiza para o Petramix a medição da resistência por flexão. Valores concretos para este ensaio são apresentados no capítulo 7 – Estudo de caso.

No contexto do sistema de fachada ventilada, existem diversas normas europeias e francesas aplicáveis aos painéis em Petramix, nomeadamente:

- Ensaios de resistência aos choques – corpo duro e corpo mole;
- Ensaios de arrancamento;
- Ensaios de compressão simples;
- Ensaios de resistência ao punçoamento;
- Medição da resistência em pontos de fixação;
- Ensaios de durabilidade: ciclos gelo-degelo, incidência de radiação UV, etc;
- Ensaios acústicos.

Sendo o Petramix um produto inovador, ainda não existe legislação em França que defina a obrigatoriedade de todos estes ensaios, sendo apenas realizados por questões de controlo de qualidade na própria empresa ou por exigência dos clientes. É de salientar ainda que dentro do espaço europeu, grande parte destes ensaios são destinados a produtos de betão ou derivados de betão e semelhantes, não sendo definidos especificamente para materiais como o GRC.

Até à data de realização deste trabalho, o Petramix foi submetido, além do já referido ensaio de resistência à flexão, aos ensaios de:

- Ensaios de arrancamento: *pull-off* e *pull-out*;
- Ensaios de resistência à compressão;
- Ensaios de resistência aos choques de impacto de corpo duro;
- Ensaios de resistência ao punçoamento;
- Ensaios de resistência nos pontos de fixação.

Os resultados obtidos para estes ensaios são abordados num contexto prático no capítulo 7 – Estudo de caso.

6

ESTUDO DE CASO

6.1. INTRODUÇÃO

Neste projeto pretende-se acompanhar o projeto do edifício H de Balard no contexto do revestimento das fachadas com painéis Petramix. Este projeto é destinado às instalações de escritórios do ministério da defesa em Paris e insere-se num projeto de construção que engloba construção de vários edifícios e reabilitação de alguns já existentes, numa grande obra terminada em 2015.

A empreitada do projeto global foi atribuída à Bouygues, e o custo total estimado é de cerca de 1000 milhões de euros. O projeto de arquitetura dos edifícios de escritórios é da responsabilidade da equipa de arquitetura *Nicholas Michelin & Associés*.



Figura 6.1 - Complexo de edifícios Balard (Parcelle Valin) [27]

Este projeto teve como grande objetivo a obtenção da certificação de alta qualidade ambiental (*Haute Qualité Environnementale - HQE*) atribuída pela AFNOR. Os quatro pontos fundamentais em que se focou o projeto de maneira a atender as exigências HQE foram:

- Água: 90% das necessidades de água para rega de espaços verdes são cobertos pela recuperação da água da chuva e 50% do consumo de água potável é economizado através de equipamentos hidro-eficientes;

- Energia: 4 poços geotérmicos garantem a climatização do edifício, seja por troca direta através de pisos radiantes ou através de duas bombas de calor de alto rendimento. Construiu-se ainda o maior telhado fotovoltaico de Paris e implementou-se ainda uma gestão centralizada de vários dispositivos reguladores de consumo de energia, garantindo uma redução global no consumo de energia de 50% em comparação com um edifício de referência;
- Conforto: a generalidade dos materiais de revestimento interiores utilizados possui rótulo ecológico, ou seja, garantem uma baixa emissão de poluentes ao longo do ciclo de vida do edifício. A renovação do ar interior foi otimizada para os diferentes tipos de utilização e nenhum edifício possui ar condicionado;
- Resíduos: uma grande percentagem dos resíduos de construção foi reciclada e os resíduos orgânicos utilizados para fabrico de fertilizantes;

De maneira a atender as exigências energéticas e de conforto, escolheu-se como solução para o revestimento das fachadas, o sistema de fachada ventilada. A S.P.I. e Stonemix em parceria com a Bouygues encarregou-se do fabrico e montagem dos painéis de revestimento para este tipo de fachada a implementar no edifício H.

Dadas as dimensões do projeto Balard, o espaço é dividido em 3 zonas facilmente distinguíveis em planta: *Corne Ouest*, *Parcelle Valin* e *Parcelle Victor*. O edifício H fica localizado na *Parcelle Victor*.



Figura 6.2 - Complexo Balard [27]

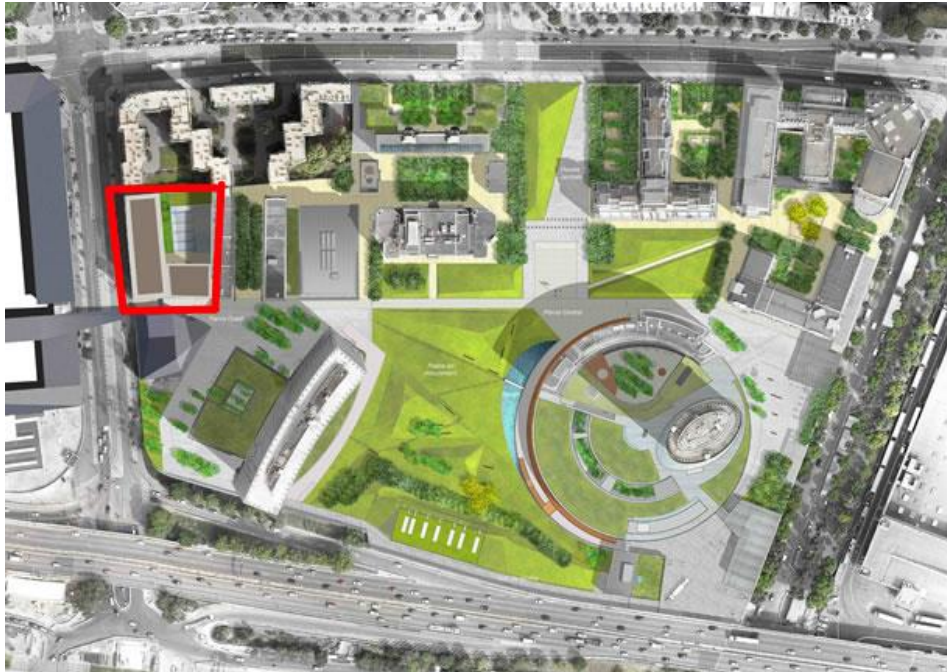


Figura 6.3 - Localização do edifício H (a vermelho) na Parcelle Victor [27]

6.2. RECEÇÃO DA OBRA E PROJETO

A receção da obra por parte da Stonemix envolve todos os componentes elaborados em projeto relativos ao revestimento da fachada. A atribuição deste trabalho à Stonemix deveu-se à grande vantagem anteriormente mencionada, a possibilidade de produzir qualquer forma (dentro dos limites técnicos definidos) com o Petramix para painéis de revestimento.

Inicialmente foram definidas para o edifício H sete fachadas diferentes, com a seguinte disposição (figura 6.4) e às quais foi atribuído um número.

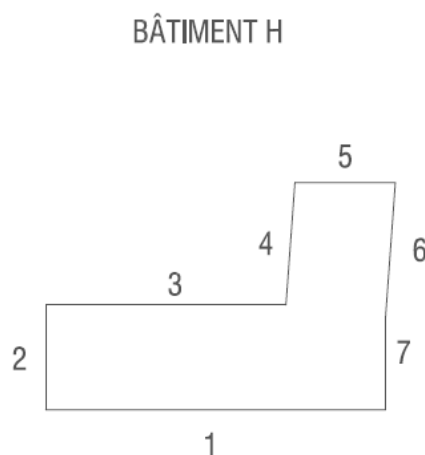


Figura 6.4 - Disposição em planta das fachadas do edifício H

A equipa de arquitetura tinha a intenção de conceber painéis tridimensionais com geometria aleatória, quer em relevo, quer em contorno. Como seria completamente inviável a produção de um elevado

número de peças (número determinado à frente) distintas umas das outras, optou-se pela criação de uma malha de 24 peças diferentes (figura 6.5). Esta malha repetir-se-ia ao longo da fachada encaixando-se como um puzzle, de maneira a cobrir a totalidade da fachada (figura 6.6). Cada peça é designada pelo número atribuído.

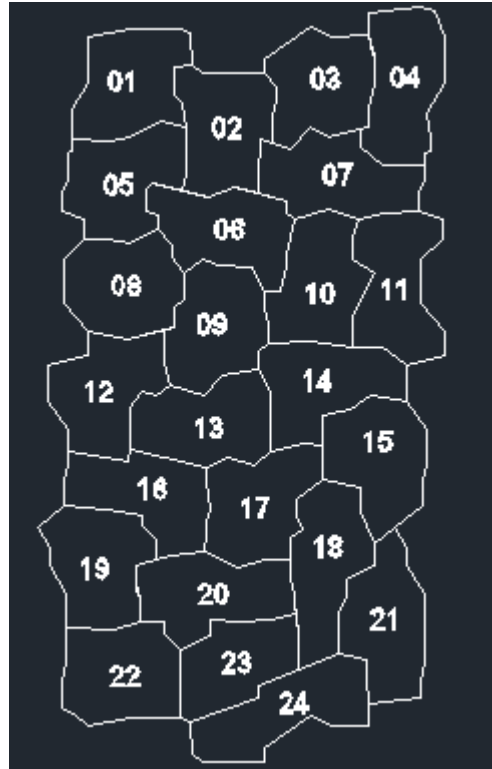


Figura 6.5 - Malha de 24 painéis Petramix



Figura 6.6 - Encaixe de 5 malhas de 24 painéis

Cada peça foi concebida com aproximadamente 1 m², o que faz com que a malha possua cerca de 24 m². Isto tem importância para a determinação do número de peças necessário para o conjunto das fachadas. É relevante ainda referir que a junta entre painéis foi definida em 5 mm quer seja aberta ou preenchida com silicone, de acordo com as características do Petramix. Inicialmente foi ainda concebida uma fachada protótipo cujo objetivo seria entender o enquadramento da malha com os limites da fachada e pontos singulares como portas, janelas, etc (figura 6.7). Por outro lado, também seria útil do ponto de vista da determinação de vários pontos de fixação de cada painel. O protótipo foi enviado para o gabinete de arquitetura para aprovação.

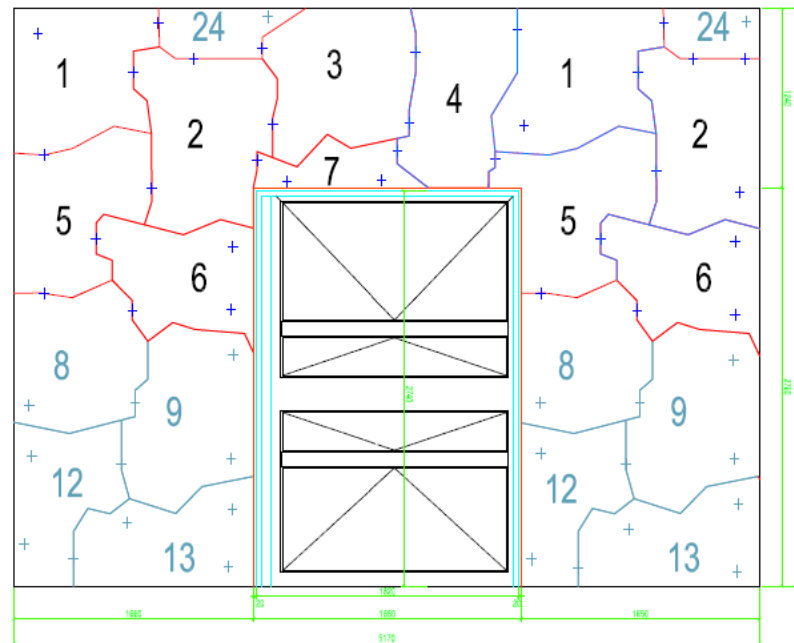


Figura 6.7 - Fachada protótipo

Relativamente aos painéis, foi feito um modelo tridimensional para cada peça, de maneira a serem produzidas com recurso a uma máquina CNC (controlo numérico computadorizado). Na figura 6.8 encontra-se o exemplo do modelo para a peça nº1.

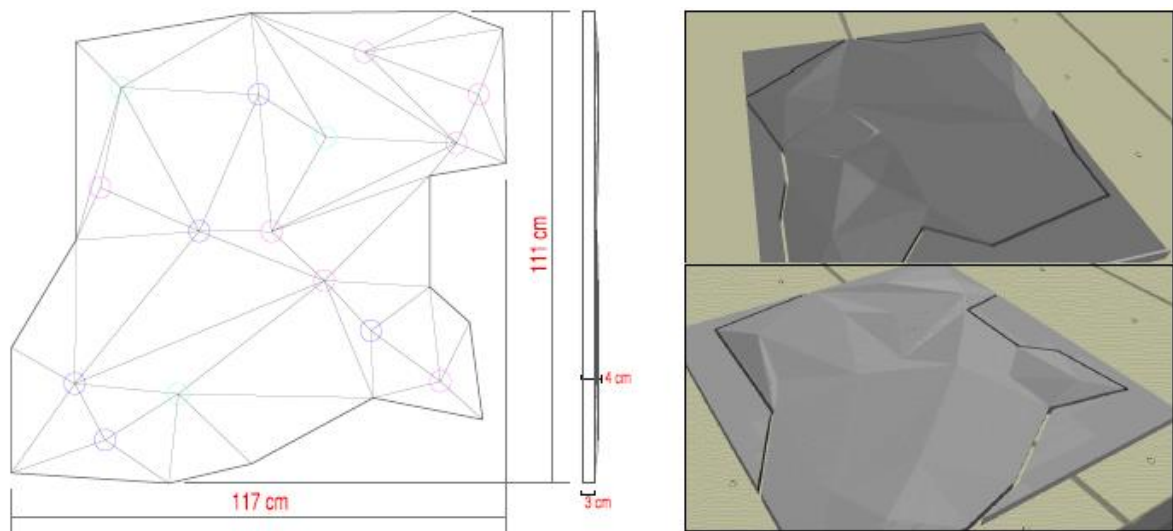


Figura 6.8 - Modelo da peça 1 da matriz de painéis.

As fachadas foram recebidas e fez-se a implementação da matriz de painéis nas mesmas, como se pode ver nas figuras 6.9 e 6.10 pertencentes à fachada 1. A utilização de cores nos painéis foi utilizada para ajudar a delimitar as matrizes.

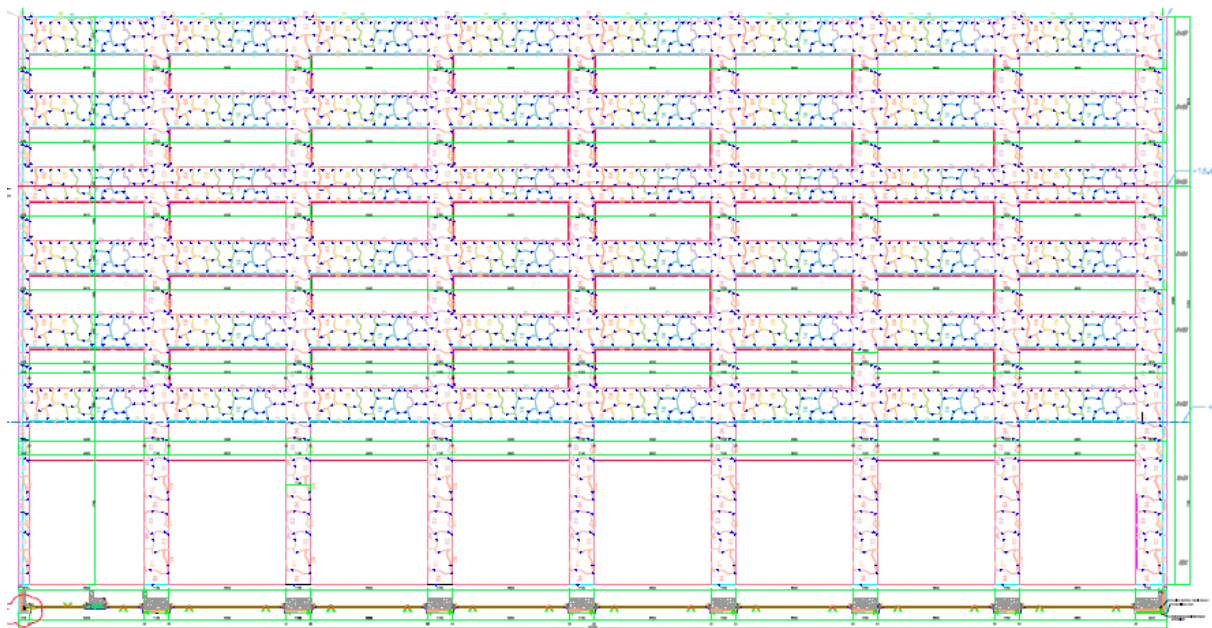


Figura 6.9 - Fachada 1

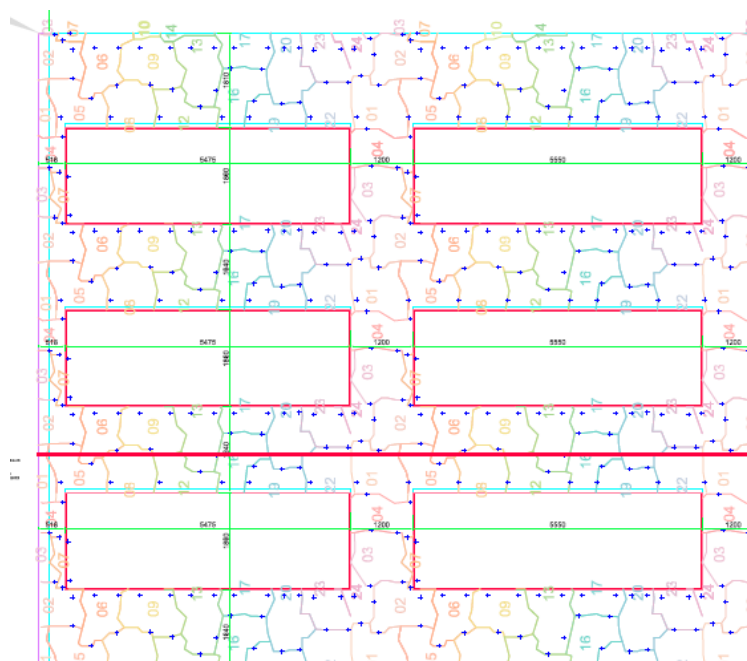


Figura 6.10 - Pormenor da fachada 1

6.2.1. DETERMINAÇÃO DO Nº DE PAINÉIS

Para a determinação do nº de painéis, seria de esperar um simples cálculo de divisão de áreas das fachadas (subtraídas de áreas abertas) pelas áreas dos painéis, mas devido ao facto de a arquitetura da fachada não ser simétrica e da geometria dos painéis ser irregular, isso levaria a um erro bastante acentuado por defeito. Como tal, o processo de cálculo será detalhado abaixo tomando como exemplo a fachada nº1.

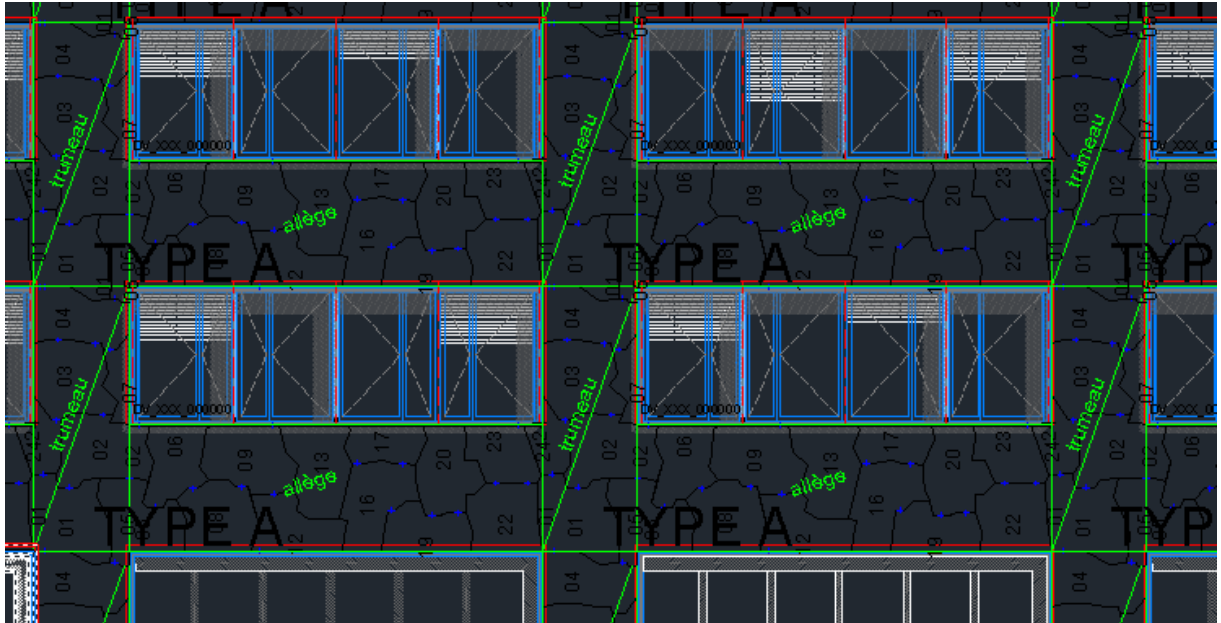


Figura 6.11 - Divisão da fachada

Foi feita uma divisão em parcelas retangulares horizontais, denominadas “allège”, e parcelas retangulares verticais, denominadas “trumeau”. O conjunto destas parcelas varia de dimensão conforme a zona da fachada, como se pode verificar no anexo C. Como tal, definiu-se vários tipos deste conjunto de parcelas: tipo A, B, C, D, E, DEC, DC, CC, etc. Na figura abaixo apresenta-se o tipo A:

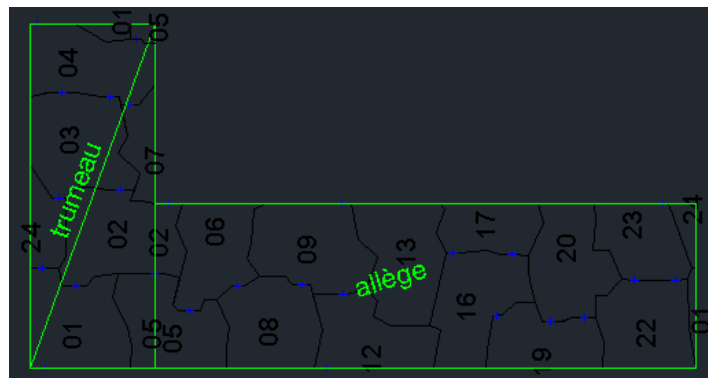


Figura 6.12 - conjunto tipo A

Como se pode ver pela figura 6.12, no tipo A temos diferentes geometrias para a peça 1 ou para a peça 24 por exemplo. Isto fez com que na realidade existissem mais de 24 tipos de painel, para os quais se fez molde próprio. Assim, além das peças com numeração de 1 a 24, criaram-se as peças 1A, 1B, 2A, 2B, 2C, etc., num total de 47 peças diferentes.

Utilizando como exemplo o painel nº 1, a geometria deste repete-se no conjunto do tipo A, B, C, D e E. Uma vez que na fachada existem 21 conjuntos do tipo A, 7 conjuntos do tipo B, 7 conjuntos do tipo C, 7 conjuntos do tipo D e 6 conjuntos do tipo E, então: $21+7+7+7+6 = 48$ painéis nº1 que têm de ser produzidos para esta fachada. É de salientar que é essencial acompanhar este cálculo com uma verificação visual do desenho em pormenor, uma vez que a diferença entre peças do tipo A, B, C, D ou E por vezes pode ser mínima quando observada em pequena escala.

Aplicando sistematicamente o processo descrito acima determinou-se o número de painéis necessário para a fachada, perfazendo um total de 1119 painéis.

Quadro 6.1 - Painéis necessários para a fachada 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	48	50				8	8	48	48				16						16			16		
A	16	8	8	8	48	2	8			10	40	48	32	8		48	40		48	32		48	32	16
B	8	14	8	48	16	40	7						8			8								32
C			8	16	10	8	14																	16
D			56				35																	
E							9																	

Para a totalidade das fachadas determinaram-se as seguintes quantidades de painéis (quadro 6.2).

Quadro 6.2 - Número de painéis para a totalidade das fachadas

Fachada	Nº de painéis
1	1119
2	23
3	706
4	516
5	6
6	570
7	484
TOTAL	3424

6.2.2. ESCOLHA DO MODELO DE PATAS MECÂNICAS

Para a determinação do número de patas mecânicas necessárias, inicialmente era necessário determinar o peso das placas para posteriormente escolher o modelo das patas mecânicas, uma vez que as cargas que estas admitem variam com o modelo. Por questões de simplificação e de maneira a acelerar o processo de montagem em obra do sistema, decidiu-se escolher para todos os painéis o modelo de maior resistência, isto é, o modelo capaz de suportar qualquer um dos 47 painéis diferentes.

Ao fornecedor, Europofix, foi pedida uma nota de cálculo das cargas para cada modelo de pata mecânica, que foram calculadas para uma deformação máxima de 2mm na extremidade onde é aplicada a carga, conforme a figura 6.13.

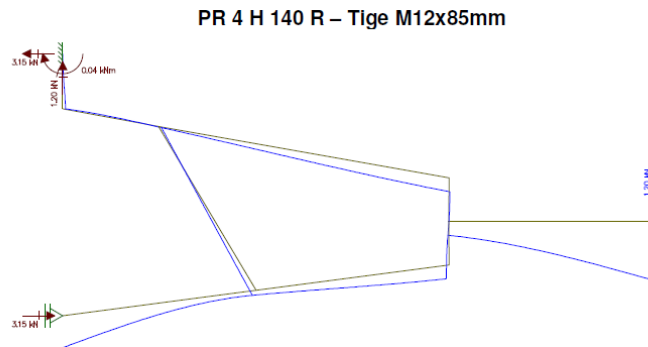


Figura 6.13 - Cargas e deformada estrutural da pata mecânica (modelo indicado)

Para os quatro modelos comercializados pela Europofix, os valores de carga admissível e carga recomendada foram os seguintes (quadro 6.3).

Quadro 6.3 - Modelos e cargas das patas mecânicas Europofix

Modelo	Carga admissível (kg)	Carga recomendada (kg)
PR 4 H 140 R	120	80
PR 4 H 150 R	105	70
PR 4 H 160 R	88	59
PR 4 H 180 R	85	56

As cargas recomendadas são determinadas aplicando um fator de segurança de 2/3 à carga admissível.

Como já foi referido no capítulo 3.4.1 deste trabalho, a massa volúmica do Petramix é de 2200 kg/m³. Utilizando este valor determinou-se o peso de cada painel multiplicando pelo seu volume. Para os painéis de dimensão normal (1 a 24), o peso médio foi de cerca de 80kg por cada painel, sendo o painel 7 o mais pesado com 83,27 kg. Considerando os painéis modificados (A a E), as variações de pesos foram maiores, sendo o painel mais leve o 14A, com apenas 2,51 kg.

Aplicando o princípio de repartição de cargas referido no capítulo 6.4, em conformidade com a DTU 55.2, para a carga de 83,27 kg a pata mecânica escolhida foi a de modelo PR 4 H 140 R.

6.3. FABRICO DOS COMPONENTES

Antes de iniciar a produção foi fabricado um modelo protótipo de demonstração (figura 6.14), com o propósito de avaliar a qualidade de moldagem, argamassa e ainda para servir de elemento de demonstração para o cliente.

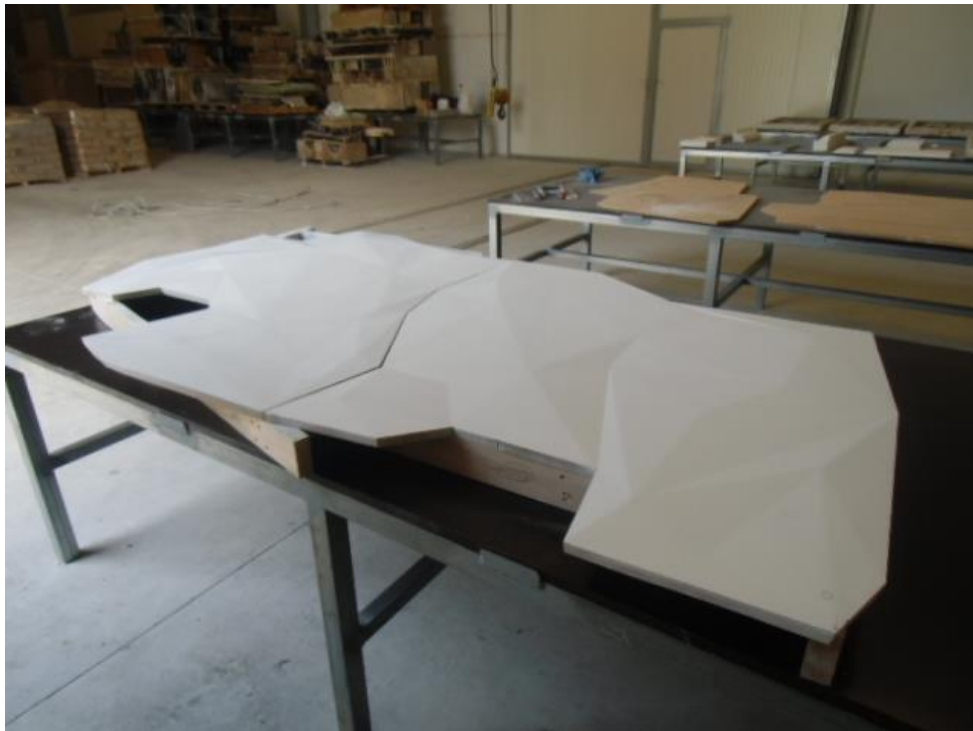


Figura 6.14 - Painéis protótipo

O processo de produção decorreu como descrito no capítulo 4.2, sendo que a única variação para os painéis desta obra em termos de material recai sobre a pigmentação.

A duração de todo o processo de produção foi de 30 semanas, como se pode observar no anexo D – Planeamento da obra. A duração das várias fases de produção foi a seguinte:

- Fabricação de modelos: 4 semanas;
- Fabricação de moldes: 8 semanas;
- Moldagem dos painéis: 12 semanas;
- Secagem das peças finais: 3 semanas;
- Embalagem e preparação para transporte: 8 semanas.

Embora o número de painéis a fabricar, fosse segundo os cálculos de 3424, devido à necessidade de criar painéis de reserva em caso de necessidade de substituição e devido ao descarte de alguns painéis que não apresentavam condições de qualidade satisfatórias (isto acontecia ao atingir a proximidade do limite de capacidade de produção dos moldes), foram fabricados um total de 3611 painéis.

6.4. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

Como já foi referido neste trabalho, o Petramix partilha de uma grande vantagem da pré-fabricação: a simplificação do processo construtivo. O processo de construção com recurso aos painéis Petramix é, de facto, bastante simples e a intervenção da Stonemix cinge-se apenas aos elementos exteriores à parede de suporte em betão.

A primeira fase é a colocação dos elementos de fixação. Conforme os desenhos, que especificam o local de cada elemento de fixação, é feita uma marcação na parede, onde serão realizados os furos. São então realizados os furos com recurso a uma broca, estes furos devem ter o diâmetro da bucha segmentada que irá ser utilizada. De seguida introduz-se a bucha na parede com recurso a um martelo e é colocada a pata mecânica e apertada a porca até ao ponto máximo.

Numa segunda fase são colocadas as placas de isolamento de lã mineral com 14 cm de espessura. A fixação destas placas de isolamento é feita com recurso a estrelas fixadoras (figura 6.15). Nos pontos onde se encontram as patas mecânicas, o isolamento é recortado e uma vez feita a fixação do mesmo, é aplicada uma banda de poliuretano e são encaixadas as secções anteriormente recortadas, de maneira a diminuir as pontes térmicas.

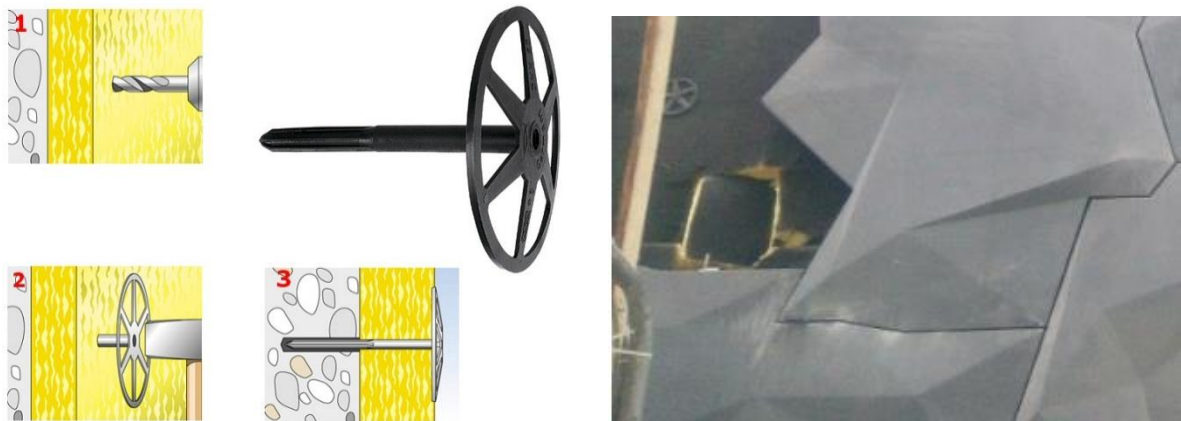


Figura 6.15 - Fixação do isolamento (à esquerda) e reposição das secções recortadas (à direita)

Por fim procede-se à montagem dos painéis: é feito um último ajuste nos pernos roscados das patas mecânicas e são encaixados os painéis, previamente furados, nos pernos/pinos de fixação. Após a montagem destes, é aplicada uma camada de anti-graffiti de efeito mate.

6.4.1. SITUAÇÕES ESPECIAIS

Em situações especiais como cantos e zonas não opacas da fachada, o processo difere ligeiramente do anterior, sendo igualmente simples.

Uma vez que se trata de um sistema de fachada ventilada, é necessário manter uma abertura nas zonas descontínuas do revestimento. Assim, nas zonas de envidraçados, é apenas adicionada uma fixação extra com perfil metálico para apoio do sistema do envidraçado, e mantida uma abertura de 20 mm entre o painel de revestimento e o respetivo sistema do envidraçado (figura 6.16).

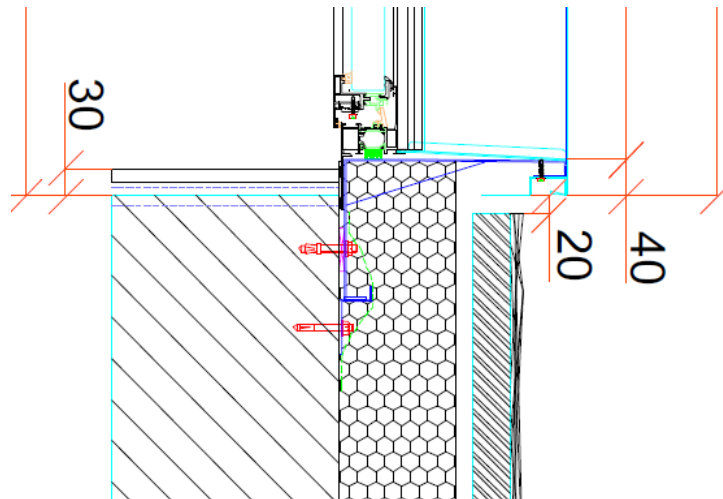


Figura 6.16 - Pormenor da interseção do revestimento com o sistema de envidraçado

Nas zonas onde convergem os painéis respetivos a duas fachadas distintas, é adicionado um perfil metálico termolacado que faz a ligação entre os dois painéis adjacentes, como se pode verificar na figura 6.17.

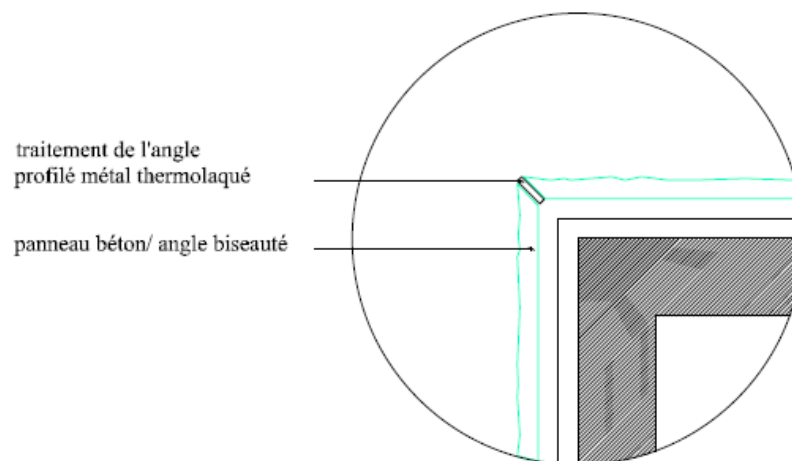


Figura 6.17 - Tratamento em zona de convergência de fachadas

6.4.2. ASPETO FINAL

Por fim, finalizada a montagem dos painéis, o aspeto do edifício pode ser observado nas figuras da página seguinte.



Figura 6.18 - Aspeto final da fachada



Figura 6.19 - Aspeto final da fachada

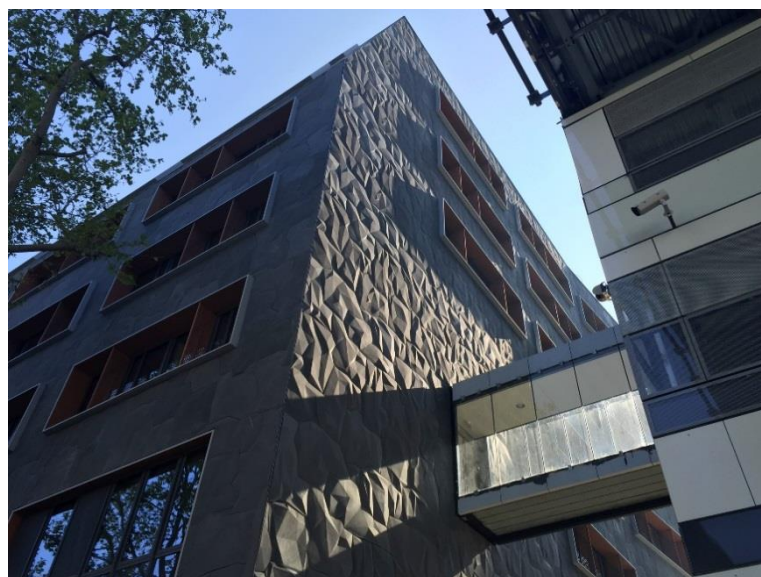


Figura 6.20 - Aspeto final da fachada

6.5. COMPROVAÇÃO DA QUALIDADE

6.5.1. NORMAS A RESPEITAR

Após adjudicação da obra, foi fornecido um relatório denominado “Caderno de Cláusulas Técnicas Particulares” (*Cahier des Clauses Techniques Particulières*). Neste documento são referidas as diferentes normas aplicáveis à fachada ventilada para esta obra:

- **NF P 01 101:** *Dimensions de coordination des ouvrages et des éléments de construction;*
- **NF P 28.001:** *Façades légères – Définitions – Classifications – Terminologie;*
- **NF EN 13830:** *Façades rideaux – normes de produit;*
- **NF EN 12152:** *Façades rideaux – perméabilité à l'air – exigences de: performances et classification;*
- **NF EN 12153:** *Façades rideaux – perméabilité à l'air – Méthode d'essai;*
- **NF EN 12154:** *Façades rideaux – étanchéité à l'eau – exigences de: performances et classification;*
- **NF EN 12155:** *Façades rideaux – Détermination de l'étanchéité à l'eau;*
- **XP ENV 13050:** *Façades rideaux – Étanchéité à l'eau - Essai en laboratoire sous pression d'air dynamique et projection d'eau;*
- **NF EN 13051:** *Façades rideaux – Etanchéité à l'eau - Essai sur site;*
- **NF EN 12179:** *Façades rideaux – Résistance à la pression du vent - méthode d'essai;*
- **NF EN 13116:** *Façades rideaux – résistance structurelle au vent - exigences de performances;*
- **Pr EN 14019:** *Façades rideaux – résistance au choc - prescriptions de performances;*
- **Pr EN 13947:** *Façades rideaux – Performances thermiques– calcul du coefficient de transmission thermique - méthode simplifiée;*
- **NF P 08-301:** *Ouvrages verticaux des constructions – Essais de résistance aux chocs – Corps de chocs - Principe et modalités générales des essais de choc;*
- **NF P 08-302:** *Murs extérieurs des bâtiments – Résistance aux chocs - Méthodes d'essais et critères;*
- **NF EN 13947:** *Performances thermiques des façades légères – Calcul du coefficient de transmission thermique (indice de classement : P 50-774);*
- **NF EN 140-5:** *Partie 5: Mesurages in situ de la transmission des bruits aériens par les éléments de façade et les façades.*

6.5.2. ENSAIOS

No âmbito da comprovação da qualidade dos painéis Petramix, foram realizados na obra em estudo os seguintes ensaios mecânicos:

- Ensaios de arrancamento: *pull-off* e *pull-out*;
- Ensaios de resistência à flexão;
- Ensaios de resistência à compressão;
- Ensaios de resistência aos choques de impacto de corpo duro;
- Ensaios de resistência ao punçoamento;
- Ensaios de resistência nos pontos de fixação.

a) Ensaios de arrancamento

Os ensaios de arrancamento contemplam dois tipos de ensaio diferentes: o *pull-off* e o *pull-out*. Para a obra em estudo, os ensaios realizaram-se no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho.

O ensaio *pull-off* consiste em colar uma chapa metálica ao painel que é tracionada até à rotura do mesmo. Este ensaio tem como base a norma europeia EN 1542 :1999.

Para este ensaio foram utilizados quatro painéis provete com as dimensões de 240x120 mm e 40 mm de espessura. Os resultados foram os seguintes:

TEST SPECIMEN	2-2_A	2-2_B	2-2_A	2-2_B
DATE OF MIXTURE	24-10-12	24-10-12	25-10-12	25-10-12
DATE OF TEST	20-02-13	20-02-13	20-02-13	20-02-13
AGE OF SPECIMEN (Days)	119	119	118	118
STORAGE CONDITIONS	Dry	Dry	Dry	Dry
THICKNESS - H (mm)	40	40	40	40
MEAN DIAMETER - D (mm)	50	50	50	50
TEST AREA (mm ²)	1963	1963	1963	1963
TYPE OF FAILURE	C	C	C	C
FAILURE LOAD (N)	3734	4338	3012	3964
TENSILE BOND STRENGTH (MPa)	1,9	2,2	1,5	2,02

Figura 6.21 - Resultados de ensaio *pull-off*

O valor de referência é definido pelo menor valor obtido, que neste caso foi de 1,5 MPa.

O ensaio *pull-out* consiste em tracionar um parafuso com 8 mm de diâmetro que possui na extremidade uma placa metálica de 20x20 mm ancorada no anterior do painel (figura 6.22).

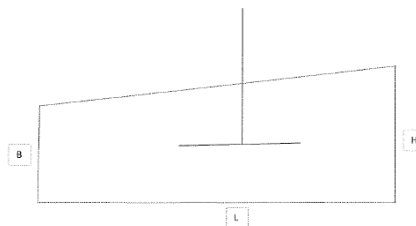


Figura 6.22 - Esquema de ensaio *pull-out*

Este ensaio foi realizado em quatro provetes diferentes, tendo-se obtido o valor médio de 2575 N para a carga de arrancamento.

b) Ensaaios de resistência à flexão

Os ensaios de resistência à flexão seguem os requisitos e indicações da norma europeia EN 12372-2:2006. Consistem em aplicar uma carga concentrada no centro do provete que é apoiado em duas extremidades. Para a obra em estudo, os ensaios realizaram-se também no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho.

Para este ensaio foram utilizados provetes de 240x120 mm com 40 mm de espessura, e 65 dias de cura. Os resultados foram os apresentados na figura 6.23.

TEST SPECIMEN	P1			P2-A			P2-B			P3		
DATE OF MIXTURE	17-12-12			18-12-12			18-12-12			20-12-12		
DATE OF TEST	20-02-13			20-02-13			20-02-13			20-02-13		
AGE OF SPECIMEN (Days)	65			64			64			62		
STORAGE CONDITIONS	Dry			Dry			Dry			Dry		
DIMENSIONS i - b - h (mm)	240	120	40	240	120	40	240	120	40	240	120	40
WEIGHT (g)	2176			2247			2228			2189		
TYPE OF FAILURE	Normal			Normal			Normal			Normal		
MAX. LOAD (N)	4403			5118			4483			4558		
FLEXURAL STRENGTH (MPa)	8,3			9,6			8,4			8,5		

Figura 6.23 - Resultados de ensaio de resistência à flexão

O valor de referência é o valor médio dos valores obtidos, que neste caso foi de 8,7 MPa.

c) Ensaaios de resistência à compressão

Estes ensaios consistem em comprimir um provete cúbico até à rotura do material seleccionado. Devem ser realizados em conformidade com a norma EN 12390-3. Para a obra em estudo, os ensaios realizaram-se também no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho.

Foram utilizados quatro provetes cúbicos com 119 dias de cura. Os resultados obtidos encontram-se na figura seguinte (6.24).

AGE OF SPECIMEN (Days)	119			119			119			119		
STORAGE CONDITIONS	Dry			Dry			Dry			Dry		
DIMENSIONS (mm)	71,17	71,04	70,70	70,85	71,41	71,02	70,94	71,42	71,32	70,95	71,44	71,34
AREA (mm ²)	5023			5072			5094			5097		
WEIGHT (g)	721			724			721			736		
TYPE OF FAILURE	Normal			Normal			Normal			Normal		
MAX. LOAD (kN)	202000			199400			222900			213400		
COMPRESSIVE STRENGTH (MPa)	40,2			39,3			43,8			41,9		

Figura 6.24 - Resultados de ensaio de resistência à compressão

O valor a utilizar como referência corresponde ao valor médio dos valores obtidos para cada provete, sendo assim de 41,3 MPa.

d) Ensaios de resistência aos choques de impacto de corpo duro

Estes ensaios consistem em largar uma esfera de aço de uma certa altura (movimento de pendulo) de maneira a simular o impacto de um corpo com uma certa energia potencial. Estes ensaios foram realizados de acordo com a norma ISO 7892 e os resultados avaliados conforme o ETAG 34. Dois impactos de 1 e 3 joules com uma esfera de aço de 0,5 kg definem as condições em serviço, enquanto que um impacto de 10 joules com uma esfera de aço de 1 kg define as condições de segurança. Para a obra em estudo, os ensaios foram realizados no laboratório de sistemas e componentes, nas instalações da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Para realização do ensaio, foram definidos 3 pontos de impacto em cada painel:

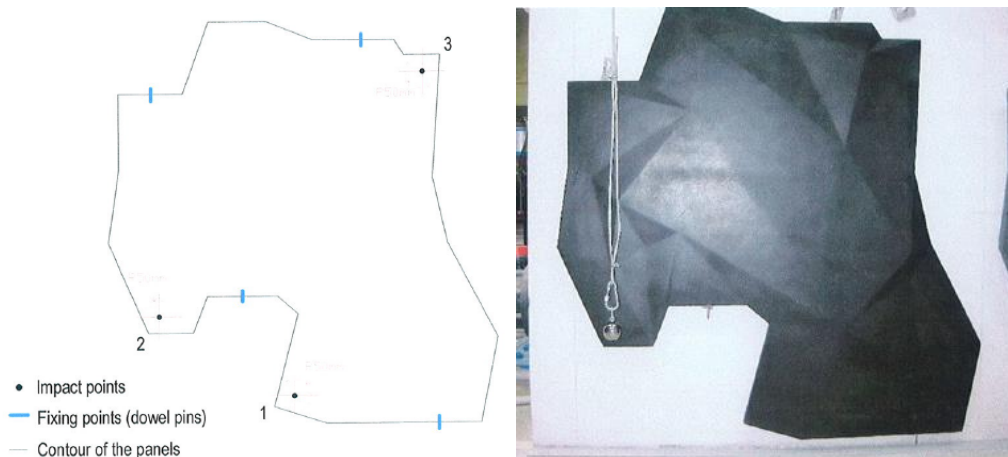


Figura 6.25 - Esquema e exemplo de ensaio

Os resultados obtidos para este ensaio foram os seguintes (figura 6.26).

Sample	Type of test	Impactor	Impact Energy (J)	Drop height (m)	Results / Remarks
1	Serviceability	Steel ball (0.5kg)	1	0.20	–No deterioration: superficial damage (circular indentation with 6mm, without visible cracks)
	Serviceability		3	0.61	–No deterioration: superficial damage (circular indentation with 10mm, without visible cracks)
2	Security	Steel ball (1 kg)	10	1.02	–Panel not cracked –No deterioration: superficial damage (circular indentation with 14mm, without visible cracks)

Figura 6.26 - Resultados de ensaio de resistência aos choques

Segundo o ETAG 34, os painéis não devem apresentar deterioração aquando do impacto do corpo duro nas condições de serviço. Como se pode verificar pela figura 6.26, este requisito foi cumprido. Ainda segundo os critérios do ETAG 34, os painéis são aptos para utilização na categoria I (zonas facilmente acessíveis ao nível do solo pelo público e vulneráveis a impactos de corpos duros).

e) Ensaios de resistência ao punçoamento

Este ensaio tem como objetivo avaliar o comportamento do material de revestimento quando sujeito a cargas concentradas aplicadas perto das extremidades dos painéis. A avaliação dos resultados é feita conforme o ETAG 34.

Para realização do ensaio foram definidos 5 pontos de aplicação de carga concentrada (fig. 6.27).

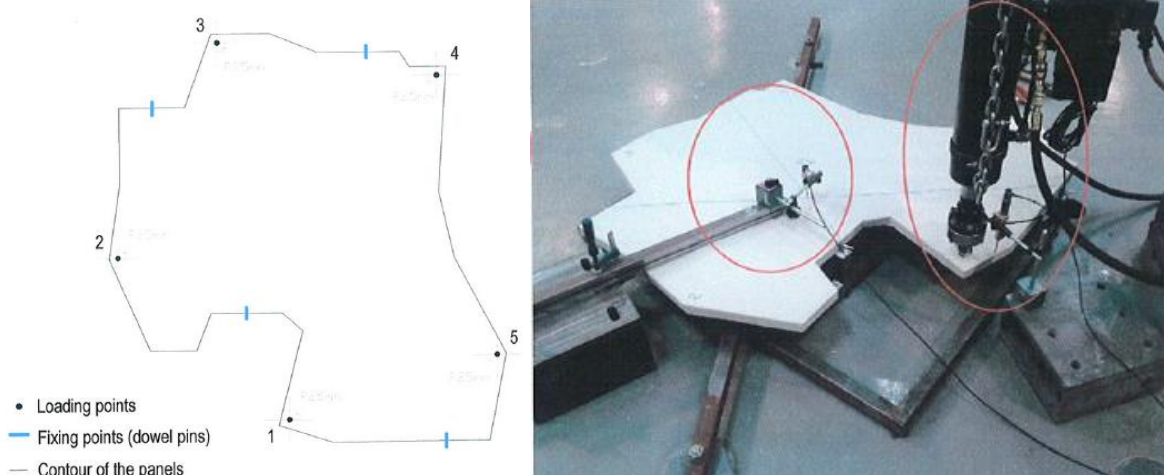


Figura 6.27 - Esquema e exemplo de ensaio

O ensaio foi realizado em 11 painéis e os resultados obtidos foram os seguintes (figura 6.28).

Sample	Maximum load (N)			C.V. (%)	Observations
	Individual	Average per loading point	Total Average		
1	1340.5	1302	1066	26.4	Breakage at the dowel hole After breakage the panel supported more loading
2	1262.8				
3	935.5	966			Breakage at the dowel hole After breakage the panel supported more loading
4	995.5				
5	1363.3	1475			Breakage at the dowel hole After breakage the panel supported more loading
6	1586.8				
7	635.0	793			Breakage at the dowel hole After breakage the panel supported more loading
8	873.8				
9	869.3				
10	942.0	933			Breakage at the dowel hole
11	923.7				

Figura 6.28 - Resultados ensaio de carga concentrada

Como se pode verificar nos resultados, foi observada fissuração nas zonas de fixação dos painéis (figura 6.29). Isto leva a concluir que a resistência dos painéis é condicionada pela resistência nos pontos de fixação (ver ensaios de resistência nos pontos de fixação). A resistência obtida foi de 1066 N, o que segundo o ETAG 34 é suficiente – este documento estabelece como referência o valor de 500 N, que tem o objetivo de simular uma pessoa apoiada numa escada a encostar-se à superfície do painel.

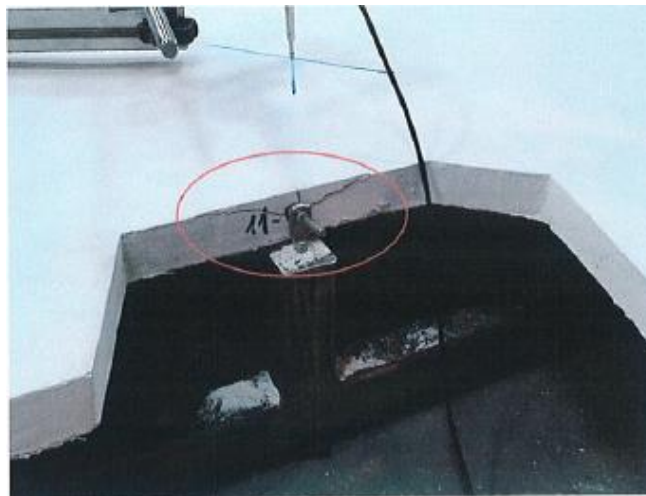


Figura 6.29 - Fissuração no ponto de fixação

f) Ensaios de resistência nos pontos de fixação

Estes ensaios consistem na aplicação de uma carga de cisalhamento perpendicular ao eixo do perno/pino de fixação (figura 6.30) até atingir a rotura do painel nesta zona.

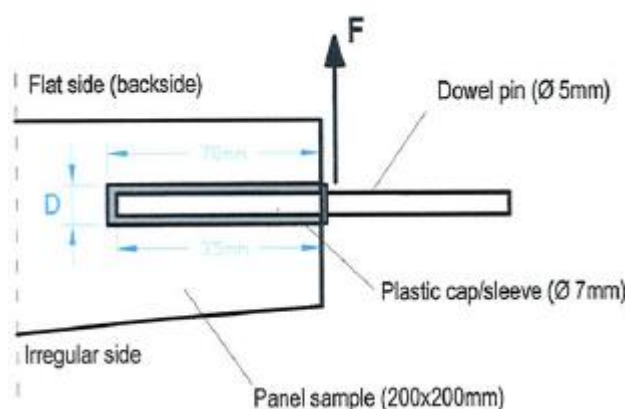


Figura 6.30 - Esquema do ensaio

Os ensaios foram realizados em 6 amostras de Petramix e os resultados foram os seguintes (figura 6.31).

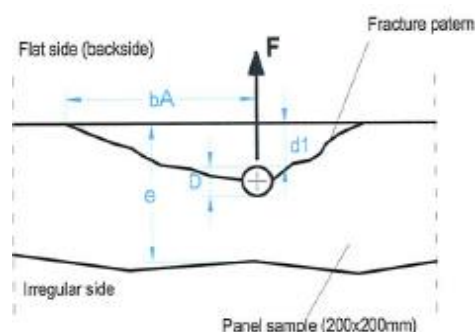


Figura 6.31 - Padrão de rotura nas amostras ensaiadas

As cargas de rotura e o coeficiente de variação (C.V.) obtidos indicam uma dispersão elevada dos resultados, possivelmente devido ao facto de os furos em que se inserem os pinos nas amostras terem sido feitos manualmente.

O valor obtido para a carga média de rotura, 558 N, leva a concluir que os painéis têm um desempenho semelhante ao das pedras calcárias.

6.5.3. DURABILIDADE

Um ponto importante para comprovação da qualidade de um material de revestimento exterior é a sua durabilidade. De maneira a testar a durabilidade dos materiais de revestimento, são geralmente realizados ensaios de durabilidade que, para o caso de obras em França contemplam: ensaios de gelo-degelo, ensaios de incidência de radiação ultravioleta, absorção de água por imersão, etc.

Para esta obra não foi exigida à Stonemix a realização destes ensaios, sendo a certificação da durabilidade do Petramix referida no documento *Avis Technique* da seguinte forma:

“A durabilidade intrínseca dos constituintes e a sua compatibilidade no sistema de revestimento considera-se semelhante à das obras tradicionais de revestimento em pedras finas.

Desta forma, e visando-se um requisito fundamental para obras futuras, os ensaios de durabilidade serão referidos no capítulo de conclusões como proposta de melhoria para a empresa.

Samples		Dimensions						Test results					
nº	ref.	Length (mm)	e (mm)	D (mm)	d1			bA			Breaking load (F)		
					Individual (mm)	Average (mm)	C.V. (%)	Individual (mm)	Average (mm)	C.V. (%)	Individual (N)	Average (N)	C.V. (%)
1	P1F1	200.9x200.8	38.4	7.5	12.2	12.4	11.5	75	53.9	27.3	496.8	558	38.1
	P1F2		33.6		11.9			62			386.1		
	P1F3		33.0		8.7			66			354.4		
	P1F4		37.1		11.7			64			391.0		
2	P2F1	200.6x200.9	38.4	7.5	9.7			53			486.0		
	P2F2		37.3		11.9			27			689.5		
	P2F3		37.8		12.8			50			329.2		
	P2F4		40.5		-			-			-		
3	P3F1	200.6x201.5	35.7	7.5	12.2			60			331.0		
	P3F2		33.6		12.1			63			340.8		
	P3F3		35.9		12.9			60			332.4		
	P3F4		38.8		13.2			86			721.4		
4	P4F1	201.2x200.5	36.7	7.5	11.78			71			379.0		
	P4F2		34.6		12.4			60			572.9		
	P4F3		33.0		12			42			510.9		
	P4F4		35.2		12.58			40			589.6		
5	P5F1	200.0x200.5	38.6	7.5	13.59			34			664.1		
	P5F2		36.7		15.46			37			663.5		
	P5F3		36.8		15.32			59			979.6		
	P5F4		38.5		13.35			46			1134.0		
6	P6F1	200.8x200.3	41.2	7.5	12.05			30			459.2		
	P6F2		38.7		12.42			55			715.1		
	P6F3		33.4		-			-			-		
	P6F4		38.5		11.77			45			755.0		

Figura 6.32 - Resultados do ensaio de resistência na zona de fixação

Para esta obra não foi exigida à Stonemix a realização destes ensaios, sendo a certificação da durabilidade do Petramix referida no documento *Avis Technique* da seguinte forma:

“A durabilidade intrínseca dos constituintes e a sua compatibilidade no sistema de revestimento considera-se semelhante à das obras tradicionais de revestimento em pedras finas.

Desta forma, e visando-se um requisito fundamental para obras futuras, os ensaios de durabilidade serão referidos no capítulo de conclusões como proposta de melhoria para a empresa.

6.5.4. COMPORTAMENTO TÉRMICO

Para esta obra realizou-se um estudo térmico com o objetivo de avaliar o comportamento do sistema em conformidade com o regulamento térmico Francês. Este estudo foi levado a cabo pela empresa de consultoria *Pouget Consultants*, sediada em Paris. A razão que levou à realização deste estudo foi o facto de existir um possível problema no tratamento das pontes térmicas na zona de fixação dos painéis assim como na zona de fixação das placas de isolamento.

Segundo o RT2005 [35], o coeficiente U_p máximo para fachadas em contacto com o exterior ou expostas à luz solar é de $0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Este coeficiente é o coeficiente térmico global da parede e é

calculado em função do coeficiente superficial em zona corrente, U_c , e os coeficientes lineares ψ e pontuais χ das pontes térmicas consideradas.

O coeficiente U_c , coeficiente de superfície em parte corrente é calculado segundo a seguinte fórmula:

$$U_c = \frac{1}{\sum R} \quad (6.1)$$

Onde R é a resistência térmica de cada elemento constituinte da parede.

O coeficiente global da parede, U_p , é calculado pela seguinte fórmula:

$$U_p = U_{fachada} = U_c + \Delta U \quad (6.2)$$

ΔU corresponde ao termo de correção do coeficiente de transmissão térmica para as fixações mecânicas e é calculado da seguinte forma:

$$\Delta U = \sum \Delta U_{pontuais} + \sum \Delta U_{lineares} \quad (6.3)$$

$$\Delta U = \sum (\psi \times L / m^2) + \sum (\chi \times n / m^2) \quad (6.4)$$

Os elementos a considerar para o cálculo são os seguintes:

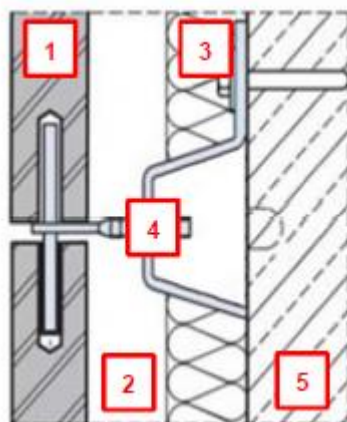


Figura 6.33 - Elementos a considerar para cálculo térmico

Quadro 6.4 - Descrição da fachada

Descrição da fachada ventilada
1 – Revestimento exterior (40mm)
2 – Caixa-de-ar ventilada (20mm)
3 – Lã mineral (140mm)
4 – Pata mecânica Europofix PR 4 H 140 R

5 – Suporte de betão armado (200mm)

1 – Revestimento exterior			
Material	Espessura (mm)	λ (W/m.K)	R (m ² .K/W)
Petramix ($\rho < 2000 \text{ kg/m}^3$)	40,00	1,35	0,03
3 – Camada de isolamento			
Material	Espessura (mm)	λ (W/m.K)	R (m ² .K/W)
Lã mineral	140,00	0,035	4
5 – Parede de suporte			
Material	Espessura (mm)	λ (W/m.K)	R (m ² .K/W)
Betão armado	200,00	2,30	0,09

Rsi + Rse (m ² .K/W)	0,17
---------------------------------	------

Para o estudo, as pontes térmicas consideradas foram as seguintes:



Segundo as regras de cálculo *Règles Th-U* [36], os valores das pontes térmicas em 1 e 2 são:

Ponctuels 1 (accroche isolant)		Ponctuels 2 (accroche parement ext.)	
Nombre/m ²	X1 (en W/K)	Nombre/m ²	X2 (en W/K)
10,00	0,003	2,50	0,050

O número de patas metálicas considerado foi de 5760 elementos para uma superfície de fachada total de 2304 m².

Determinados todos os coeficientes, os resultados obtidos foram os seguintes:

Domaine d'étude			Ponctuels 1 (accroche isolant)		Ponctuels 2 (accroche parement ext.)		Uc	ΔU	Up
R _{porteur}	R _{isolant}	R _{parement ext.}	Nombre/m ²	X1 (en W/K)	Nombre/m ²	X2 (en W/K)	(W/m ² .K)	(W/m ² .K)	(W/m ² .K)
0,09	4,00	0,03	10,00	0,003	2,50	0,050	0,23	0,16	0,39

Concluiu-se ainda neste estudo, que os elementos de fixação da Europofix, modelo PR 4 H 140 R, associados ao revestimento Petramix, levam a uma degradação final de 40% da performance térmica da fachada face a uma fachada revestida por Petramix sem as pontes térmicas inseridas por estes elementos.

7

CONCLUSÕES

7.1. RESULTADOS OBTIDOS. CONCLUSÕES

Nesta dissertação fez-se um trabalho de descrição dos sistemas de fachada ventilada associados a materiais de painéis de revestimento em que a liberdade arquitetural se prova superior face a outros mais comuns. O estudo seguiu uma linha de cariz tecnológico, baseando-se em soluções existentes no mercado francês, consulta de documentação de carácter normativo e regulamentar, informação bibliográfica sobre sistemas de construção pré-fabricados e em informações técnicas divulgadas pelos fabricantes.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, sobretudo na pesquisa de elementos normativos para o mercado francês, encontrou-se uma lacuna na definição exata dos materiais com composição semelhante ao Petramix. De facto estes materiais são regulamentados segundo diferentes denominações, entre as quais, “CCV – Composite ciment verre”, “Béton Fibré”, “Ciment à renfort fibre de verre”, “fibre-ciment armé de fibres de verre”, “mortier renforcé de fibres de verre”, entre outros. Assim, foi essencial o estudo de soluções presentes no mercado de maneira a definir condições de avaliação da qualidade para estes produtos.

Pretendeu-se com este trabalho não só caracterizar e avaliar o material estudado – Petramix, como também apresentar informações que possam servir de base para o desenvolvimento futuro de produtos introduzidos num contexto tecnológico semelhante, a ser introduzidos no mercado Português ou de outros países europeus.

Considera-se que o objetivo proposto foi atingido. Numa fase em que o setor da construção em Portugal se encontra muito debilitado, é essencial olhar para os países estrangeiros onde o desenvolvimento e aplicação de soluções inovadoras é constante. Sendo o mercado francês um mercado altamente competitivo e muito regulamentado, deve ser tomado como uma grande referência para Portugal.

7.2. PROPOSTAS DE MELHORIA PARA A EMPRESA

Ao analisar as soluções comercializadas por empresas concorrentes com a Stonemix, encontraram-se metodologias tecnológicas, de produção e de certificação que poderão inserir melhorias substanciais quer no desempenho do Petramix, quer no estabelecimento da Stonemix como uma empresa de referência para estes produtos.

Relativamente ao desempenho do produto concluiu-se, através da análise de outras soluções, que este pode ser melhorado ao recorrer-se aos seguintes métodos:

- Implementar vibração após enchimento dos moldes: este método faz com que se eliminem as bolhas de ar que são criadas na argamassa aquando do enchimento dos moldes. Estas bolhas ao serem retiradas, tornam o elemento mais resistente após a sua cura e previnem o aparecimento de patologias estéticas, evitando assim a necessidade de recorrer à correção das mestas e conferindo ao material uma qualidade de acabamento superior;
- Incorporar polímeros na mistura: os polímeros atuam formando uma película envolvente da mistura, retendo humidade no painel e facilitando assim a hidratação do cimento, o que leva a uma inibição da fissuração superficial [14]. Quando introduzidos na mistura, os polímeros levam geralmente a um aumento da resistência à flexão dos painéis.

Ao acompanhar o processo de produção do Petramix, observou-se que no processo de desmoldagem alguns painéis sofriam rotura em zonas mais frágeis. Isto deveu-se ao facto de a desmoldagem ser realizada de forma bastante artesanal, sendo os moldes virados para baixo, deixando-se por vezes cair o painel em cima da mesa de trabalho com demasiado impacto. Sugere-se assim a criação de uma metodologia de desmoldagem, com recurso a algum apoio ou um material de amortecimento de impacto. Com isto evita-se a introdução de custos adicionais para a empresa por necessidade de reparação ou substituição de painéis danificados.

Com uma crescente preocupação dos mercados para as questões ambientais, propõe-se que a empresa recorra a instituições internacionais de certificação da sustentabilidade à semelhança do produto apresentado no capítulo 2: o fibreC.

Por fim, existe ainda uma lacuna relativa à certificação do desempenho do Petramix: a durabilidade. Ao longo do estudo do mercado francês realizado, notou-se que os ensaios de durabilidade não são muitas vezes exigidos às empresas fornecedoras de painéis de revestimento e, de facto, a legislação não é muito clara neste aspeto. Contudo, sendo o mercado francês bastante competitivo, encontram-se algumas empresas preocupadas em certificar os seus produtos de maneira a atestar a sua durabilidade superior face a outros. Propõe-se então que sejam realizados ensaios de durabilidade, como ciclos de gelo-degelo, incidência de radiações ultravioleta, entre outros, de maneira a comprovar a durabilidade superior do Petramix, face a outros materiais comuns.

Ainda tendo em consideração o desempenho do produto, propõe-se a criação de condições para a livre circulação deste produto no Espaço Económico Europeu. Isto é conseguido através da marcação CE quando o produto obedece a exigências essenciais estabelecidas pelas diretivas.

7.3. PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

Sendo os materiais abordados neste trabalho, com destaque para o Petramix, considerados inovadores e estando sob constante desenvolvimento tecnológico, conclui-se ser fundamental desenvolver futuramente um plano de certificação destes produtos para diversos mercados, sobretudo o mercado Português.

Considera-se também fundamental o desenvolvimento experimental dos sistemas de fachada ventilada com recurso a materiais como o GRC ou similares, nomeadamente a realização de ensaios acústicos *in situ* e em laboratório para estes materiais quando inseridos no contexto tecnológico da fachada

ventilada, e ainda a caracterização do seu desempenho térmico, recorrendo a laboratórios especializados.

Por fim, numa perspetiva de manutenção do sistema, propõe-se um trabalho de pesquisa e avaliação de produtos de limpeza, retificação e restauro para painéis de revestimento em GRC e similares, tendo em consideração a certificação ambiental dos produtos.

No âmbito da inserção formal deste trabalho num ambiente empresarial, foi realizado pelo autor desta dissertação como contributo para a empresa, um contacto com o Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho representado pelo Professor Doutor Aires Camões, com o objetivo de realização de ensaios de resistência aos choques de corpo mole para o Petramix. Encontra-se em anexo um pequeno dossier realizado por este autor, com vista à obtenção do orçamento para os referidos ensaios. É de salientar, que à data de conclusão desta dissertação ainda não se encontram disponíveis os resultados desses ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.rieder.cc/at/en/main/sustainability/> . Acedido em Maio 2015.
- [2] S. Betsinor, *Avis Technique 16/10-604 - GIREC V - MATIV*. CSTB. 2010.
- [3] CSTB, “*Evaluation Technique - Ductal*” Paris, 2009.
- [4] International Organization for Standardization (ISO), ISO 6241:1984- *Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered*, Genebra: ISO, 1984.
- [5] Faria, José Amorim. Divisórias leves prefabricadas – Conceção e avaliação da viabilidade de um sistema realizado com base em madeira e derivados, D. d. doutoramento, Ed., FEUP, 1996.
- [6] Castelo, João Luís de Couto. *Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos*, FEUP, 2008.
- [7] Ferreira, Nelson Valdemar de Sousa. *Sistemas de revestimento de fachadas em aço*, FEUP, 2012.
- [8] Association Francaise de normalisation (AFNOR), *Façade légère-définitions-classification-terminologie*, Paris: AFNOR, 1990.
- [9] NF P10-210: DTU 22.1. *Travaux de bâtiment - Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire*, Paris: AFNOR: DTU 22.1.
- [10] Union Européenne pour l’agrément technique dans la construction (UEAtc), *Directivas comuns UEAtc para a homologação de fachadas leves*, Lisboa: LNEC, 1984.
- [11] SamPedras. <http://www.sampedras.com/pt/tipos-fixacao.html> . Março 2015.
- [12] Europofix, Catálogo Sistemas de Fixação em INOX.
- [13] Europofix S.A. - *Sistemas de fixação em INOX*,”.
<http://www.europofix.pt/index%20dd.html#tipofix> . Março 2015.
- [14] Knowles, Edward S. *Recommended Practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels*, U.S.A.: Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI), 1993.
- [15] Barth, Fernando. *Las fachadas de hormigón arquitectónico y GRC: Aplicación y comportamiento de los cerramientos prefabricados*, Barcelona: ETSABUPC, 1997.
- [16] Camposinhos, Rui de Sousa. “*Fachadas pressurizáveis*” em *Congresso Construção 2007 - 3º Congresso Nacional*, Coimbra, 2007.
- [17] <http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=545> . Março 2015.
- [18] Amado, M. e Lopes, T. “*Pré-Fabricação Aplicada ao Contexto de Reabilitação de Edifícios*” em *CCRSEEL - Faculdade de Ciências e Tecnologia*, Lisboa, 2012.
- [19] NF P 65-202, DTU 55.2: *Travaux de bâtiment - Revêtements muraux attachés en pierre mince*, Paris: AFNOR, 2000.
- [20] O. M. Gonçalves, J. M. Vanderley, F. A. Pichi e N. M. N. Sato, *Coletânea Habitar - vol. 3 - Normalização e Certificação na Construção Habitacional*, Porto Alegre, 2003.
- [21] CPT 3251, “*Définition, exigences et critères de traditionalité applicables aux bardages rapportés*” nº CSTB, 2000.
- [22] NF DTU 20.1, *Travaux de bâtiment - Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - Parois et murs*, Paris: AFNOR: DTU 20.1, 2008.
- [23] A. C. Pereira, *A utilização de GRC na renovação de edifícios - Caso de estudo: Centro de I&D do IPCA*, Porto: FEUP, 2013.
- [24] CPT 3546, *Résistance aux chocs des bardages rapportés, vêtues et vêtages*, CSTB, 2008.
- [25] CPT 2929, *Classement reVETIR des systèmes d'isolation thermique des façades par l'extérieur*, PARIS: CSTB, 1996.

- [26] Decreto Lei nº 238/86, de 19 de Agosto, Lisboa: Imprensa Nacional, 1986.
- [27] J. C. Lucas, Exigências Funcionais de Revestimentos de Paredes, Lisboa: LNEC: ITE 25, 1990.
- [28] d. 9. d. J. Decreto Lei nº 96/2008, Revisão ao Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), Lisboa: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2008.
- [29] A. Rodrigues, Fachadas com Revestimentos Exteriores Descontínuos e Independentes - Caracterização e Seleção Exigencial, Porto: FEUP, 2003.
- [30] Decreto Lei nº 80/2006, de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Lisboa: Imprensa Nacional, 2006.
- [31] L. Matias e P. d. Santos, Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios - ITE 50, Lisboa: LNEC, 2009.
- [32] International Organization for Standardization (ISO), ISO 10211: Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations, Genebra: ISO, 2007.
- [33] NP EN 206-1, “Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade,” Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2007.
- [34] NF P 65-202-1 DTU 55.2, Travaux de bâtiment - Revêtements muraux attachés en pierre mince, Paris: AFNOR, 2000.
- [35] Réglementation thermique 2005, Ministère de l'emploi, de la cohésion sociale et du logement, 2005.
- [36] CSTB, Règles Th U - Réglementation thermique - Règles de calcul, 2001.

REFERÊNCIAS DE FIGURAS

- [1] <http://www.nauth-sl.de/fileadmin/downloads/ENGLISCH/850.pdf>
- [2] Avis Technique 2/11-1453
- [3] <http://www.europofix.pt/index%20ff.html#patas>
- [4] <http://fixinox.com/en/products/natural-stone-anchors/mortar-anchors/>
- [5] <http://www.grapamar.com/puntual/?lang=en>
- [6] <http://www.rieder.cc/at/en/main/references/reference/1/private-residence-moedling/>
- [7] <http://www.rieder.cc/at/en/main/references/reference/1/helios-university-of-california-berkley/>
- [8] <http://www.rieder.cc/at/en/main/references/reference/1/soccer-city-stadium-za/>
- [9] <http://www.rieder.cc/at/en/main/references/reference/1/exhibition-booth-swissbau/>
- [10] <http://www.rieder.cc/at/en/main/references/reference/1/cspace-pavilion-london-gb/>
- [11] <http://www.rieder.cc/at/en/main/references/reference/19/lontoonkatu-9-helsinki>
- [12] <http://www.rieder.cc/at/en/main/references/reference/19/saukonranta-helsinki-finland/>
- [13] <http://www.rieder.cc/at/en/main/references/reference/19/eurostars-book-hotel-munich>
- [14] <http://www.betsinor.com/en/processes/on-site-use.html>
- [15] <http://www.betsinor.com/en/implementation/facade-cladding/3d/centre-de-recherche-grenoble.html>
- [16] <http://www.betsinor.com/en/implementation/facade-cladding/texture/duco-and-trieo-bouygues-immobilier-headquarters.html>
- [17] <http://www.betsinor.com/en/implementation/facade-cladding/texture/creche-paris.html>
- [18] <http://www.betsinor.com/en/implementation/facade-cladding/texture/hilton-arc-de-triomphe-paris.html>
- [19] <http://www.betsinor.com/en/implementation/facade-cladding/texture/bus-depot-thiais.html>
- [20] http://www.ductal.com/wps/portal/ductal/3_6_1-Detail?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/lib_ductal/Site_ductal/AllKeyProject/KeyProjectDuctal+Page_1341220087440/Content+KeyProjectDuctal
- [21] http://www.novidis.com/custom_ornamental_mouldings.html
- [22] Avis Technique 16/09-592
- [23] http://www.novidis.com/custom_ornamental_mouldings.html
- [24] Avis Technique 16/11-621
- [25] <http://www.partner-engineering.com/Projet/listing/id/5>
- [26] <http://www.lesrivesdesaone-grandlyon.com/sponsors/vicat/>
- [27] <http://www.info-chantier-balard.fr/le-chantier/plan-interactif>

ANEXOS

ANEXO A - FICHA técnica da argamassa constituinte do Petramix

ANEXO B – CATÁLOGO EUROPOFIX

ANEXO C – ARQUITETURA DAS FACHADAS - BALARD

C.1. FACHADA 1

C.2. FACHADA 2

C.3. FACHADA 3

C.4. FACHADA 4

C.5. FACHADAS 6 E 7

ANEXO D – PLANEAMENTO DA OBRA

ANEXO E – DOSSIER DE ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AOS CHOQUES - PETRAMIX

ANEXO A

Ficha técnica da argamassa constituinte do Petramix

Technical Data Sheet

I-01
INDUSTRIAL MORTAR

a joint venture of InterCement

1 | ABOUT THIS PRODUCT

I-01 is a cementitious, external off-white dry mortar. This Dry Mortar was specifically designed for usage as the binding component of PETRAMIX® (Registered product of Stonemix, Lda). It's composed of white Portland cement, limestone aggregates and specific additives, thus assuring constancy and quality.

2 | PACKAGING

I-01 is supplied on 25 kg bags, in 56 bag packages

4 | STORAGE AND SHELF LIFE

I-01 must be kept on its original package bag until usage. When stored unopened in a dry place at temperatures above 5°C, and sheltered from direct sunlight, shelf life is 12 months from date of manufacture.

5 | TECHNICAL DATA

Mixing water	15 to 17 %
Fresh mortar bulk density	1600 ± 200 kg/m³
Drying Time	6 hours
Hardened mortar bulk density (14 days)	2050 ± 200 kg/m³
Capillary water absorption (14 days)	≤ 0,20 kg/m²·min ^{0,5}
Water vapour permeability (14 days)	μ ≤ 35
Thermal Conductivity (λ _{10,47})	1,2 W/mK (Tabulated A.V.; P=50%)
Adhesive Strength over concrete (14 days)	≥ 0,20 N/mm²
Compressive Strength (14 days)	≥ 20 N/mm²
Flexural Strength (14 days)	≥ 3 N/mm²
Reaction to Fire CE directive 2000/147/CE and 2003/629/CE	Euroclass A1 (equivalent to the obsolete M0 class)

These results were obtained in controlled laboratory conditions in observance of the EN 998-1:2010 and EN 998-2:2010 European Standards.

6 | GOOD PRACTICES**6.1 | Mixing water**

The mixing water must be clean, and preferably potable. Drinking water is generally suitable. Once the mixing is done, do not add any further water to the mortar.

6.2 | Climate exposure

The characteristics of this product are greatly affected by the environmental temperature, specially the drying time. Must not be used if the environmental temperature is below 5°C or above 30°C.

6.3 | Health and Safety

Contains cement (Contains chromium (VI). May produce an allergic reaction). Harmful by inhalation. Irritating to eyes and skin. Keep out of the reach of children. In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical help. After contact with skin, wash immediately with plenty of soap and water. Wear suitable protective clothing, gloves and eye/face protection. Keep out of the reach of children.

Do not swallow.

For further information, please request the Material Safety Data Sheet for this product.

7 | CONTACTS**CIARGA, Argamassas Secas, S.A.**

(Alhandra Plant)
E.N. n.º10, km 18,4, 2600-470 Alhandra - Portugal
Telephone: +351 21 951 90 30
Fax: +351 21 951 18 50
ciarga.alhandra@cimpor.com

(Mala Plant)

Avenida Américo Duarte, 4425-504 S. Pedro Fins - Portugal
Telephone: +351 22 969 87 10
Fax: +351 22 969 87 29
ciarga.mala@cimpor.com

CIMPOR - Industria de Cimentos, S.A.

Orders and commercial information
S. Pedro Fins - Ermesinde
Telephone: +351 22 968 80 00
Fax: +351 22 967 18 38
dcomercial@cimpor.com

Any information presented on this document is, to the best of our knowledge and on the issue date, true. This document can be revised, and any information changed, without prior warning. Our responsibility goes only as far as the quality assurance of the product, and, thus, does not cover neither any eventuality that may arise from using this product in any form different from its intended use, nor any derived product.

CIARGA - Argamassas Secas, S.A.

Rua Alexandre Herculano, 35 | 1250-009 LISBOA | PORTUGAL | Tel. (351) 21 8100 | Fax. (351) 21 356 1381
FÁBRICA | E. Nacional N.º 10, Km 18,4 | 2600-470 ALHANDRA | Tel. (351) 21 951 90 30 | Fax (351) 21 951 18 50
FÁBRICA | Av. Américo Duarte | 4425-504 ERMESINDE | Tel. (351) 22 969 87 10 | Fax (351) 22 969 87 29



Off-White

English Translation of Version 3 of February, 4th, 2014 | Page 1 of 1

ANEXO B

Catálogo Europofix



/// DESCRIÇÃO DESCRIPTION ///

Estes sistemas de fixação são uns dispositivos destinados a suportar elementos de revestimentos de fachadas, tais como: pedra, mármore ou granito. Embora estes sistemas satisfaçam as condições necessárias para aplicação em fachadas de alvenaria, estes sistemas podem também ser utilizados em paredes de betão polido.

Estes sistemas estão concebidos para poder serem utilizados em fachadas com mau acabamento (com irregularidades; planos irregulares), pois o seu sistema de ajuste tridimensional permite que o revestimento fique colocado em perfeito planificado.

Le procédé de patte de fixation mécanique est destiné à l'agrafage de revêtement muraux en pierre mince ou de autre nature (béton, dalle reconstituée...).

Le procédé est conçu pour pallier aux irrégularités du gros oeuvre support en assurant une capacité de réglages dans les trois directions de l'espace pour assurer la planéité de la façades.

/// CARGAS ADMISSÍVEIS CHARGE ADMISIBLE ///

Para cada tipo de suporte é indicado o seu peso máximo admissível.

La Charge admissible est indiquée pour chaque type de support.

/// CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIELS UTILISÉS ///

Os suportes de fixação, independentemente do tipo, são fabricados em aço inoxidável A2 (AISI 304) ou A4 (AISI 316);

Preço e prazo de fornecimento na qualidade A4, apenas fornecidos sob consulta.

Les systèmes de fixation sont fabriqués en inox A2 (AISI 304) ou A4 (AISI 316) ;

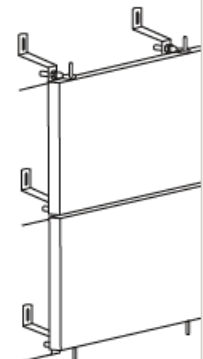
Prix et délai d'approvisionnement à la qualité A4, seulement fournis sous consultation.

/// TIPOS DE FIXAÇÃO TYPES DE FIXATIONS ///

> JUNTAS HORIZONTAIS .. FIXATION EN JOINT HORIZONTAL

Considerar o peso da pedra e Dividi-lo por 2.

Le poids de la pierre est supporté par les 2 attaches.



SISTEMAS DE FIXAÇÃO EM INOX //////////////////////////////////

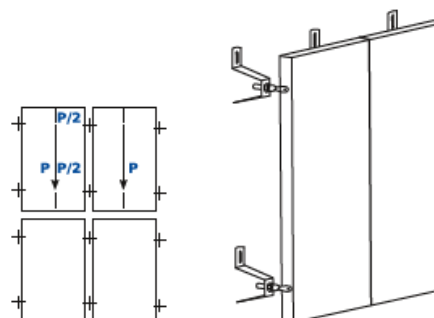
> JUNTAS VERTICAIS .. FIXATION EN JOINT VERTICAL

Considerar os dois casos possíveis:

- Cada fixação suporta $P/2$ se a junta inferior for de dilatação.
- Com uma junta inferior impedida de dilatação considera-se que um suporte de fixação suporta o peso total.

Considérer les deux cas:

- Si le joint est libre de dilatation, le poids est supporté par les 2 attaches;
- L'attache supporte le poids total de la pierre si le joint inférieur ne souffre pas de dilatation.



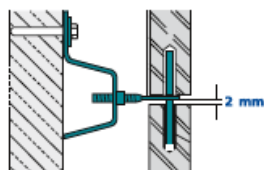
Com a utilização de 3 patas por fixação, considera-se que apenas duas contribuem para o suporte da carga.

Avec l'utilisation de 3 support, il se considère seulement deux contribuent au support de la pierre.

/// JUNTAS JOINT ///

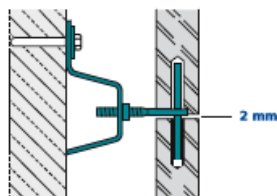
Cada pedra a colocar deve ser considerada como um só elemento, pois pode sofrer dilatações em três sentidos diferentes.

Comme les pierres peuvent souffrir des dilatations dans trois sens différents, elles doivent être considérées comme un seul élément,



Existe uma folga mínima de 2 mm entre a parte achatada da tija roscada e a parte superior da pedra colocada inferiormente.

Il existe un vide min. de 2mm entre le méplat et la partie supérieure de la pierre placée en bas.



Pode ser utilizado um rebaixe da pedra para encobrir o perno roscado respeitando igualmente a folga mínima de 2 mm.

Un Rabaissement de la pierre pour dissimuler l'axe réglable peut être utilisé en respectant le vide min. de 2mm.



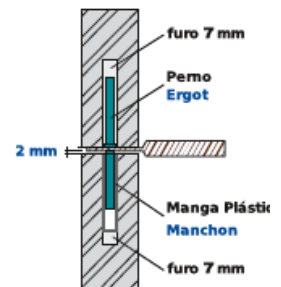
/// PERNO E MANGA PLÁSTICA ERGOT ET MANCHON ///

O perno tem um batente de modo a se auto-centrar, permitindo assim dilatação da pedra.

A manga plástica (fechada numa das extremidades) é colocada no interior da pedra de forma a evitar a penetração de cola / resina e o possível bloqueio do sistema.

L'ergot est muni d'une collerette d'auto centrage. L'ergot est une tige cylindrique que on loge à l'intérieure du trou pratiqué dans la pierre.

Le manchon en PVC est disposé dans le trou de la pierre pour assurer la libre dilatation de l'ergot.



/// PATA MECÂNICA PATTE MÉCANIQUES ///

Material em aço inox A2 (AISI 304)

Preço e prazo de fornecimento na qualidade A4 (AISI 316), só sob consulta.

Matière: Inox AISI 304

Prix et délai d'approvisionnement à la qualité AISI 316, seulement fournis sous consultation.



NOTA:

Preço inclui fornecimento de: Pata Mecânica, 1 perno roscado, 1 perno de 5mm e 1 manga plástica.

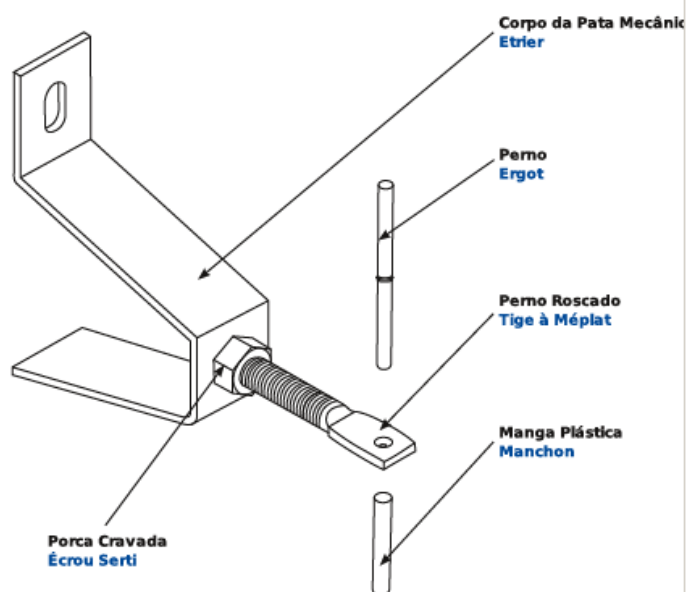
Le prix inclut approvisionnement: 1 patte mécanique, 1 tige filetée, 1 ergot e 1 manchon.

SISTEMAS DE FIXAÇÃO EM INOX //////////////////////////////////

> PRINCÍPIO .. PRINCIPE

A gama de patas mecânicas da EUROPOFIX permite uma fácil regulação em profundidade da distância entre parede suporte / eixo fixador. Essa regulação é conseguida através de uma porca rebite que está cravada no corpo da pata mecânica, que vai fazer rodar o perno roscado (através de uma chave de boca), afastando ou aproximando a pedra a colocar.

Les systèmes EUROPOFIX permettent un réglage en profondeur de la distance mur support - axe ergot. Ce réglage est obtenu au moyen d'un écrou à épaulement certi qui, serti sur le corps de la fixation, transforme sa rotation effectuée au moyen d'une clé plate en translation de la tige filetée.



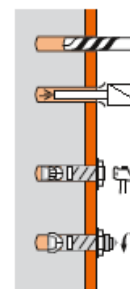
> INSTALAÇÃO .. MISE EN OEUVRE

> Etapa 1 - Colocação da bucha segmentada de fixação

Étape 1 - Mise en place de la cheville de fixation

Com o auxílio de uma broca é feito um furo com o diâmetro da bucha segmentada, o furo deve ser feito com as mesmas características da bucha de modo a permitir a sua penetração. Após a limpeza do furo (soprando o furo com um compressor), a bucha é introduzida com a ajuda de um martelo (caso necessário). Depois de ter colocado a pata mecânica adequada à configuração necessária, a porca é apertada à mão até ao seu ponto máximo.

On perce, au moyen d'un foret monté sur un perforateur, un trou du diamètre adapté à la cheville de fixation. Le trou doit permettre un enfoncement répondant au caractère de la cheville. On nettoie le trou par soufflage au moyen d'une pompe. La cheville est introduit dans le trou et on l'enforce, (si nécessaire), à l'aide d'un marteau. Après avoir mis en place le système EUROPOFIX adaptée à la configuration, On place la rondelle et on amorce le vissage de l'écrou en serrant à fond à la main.





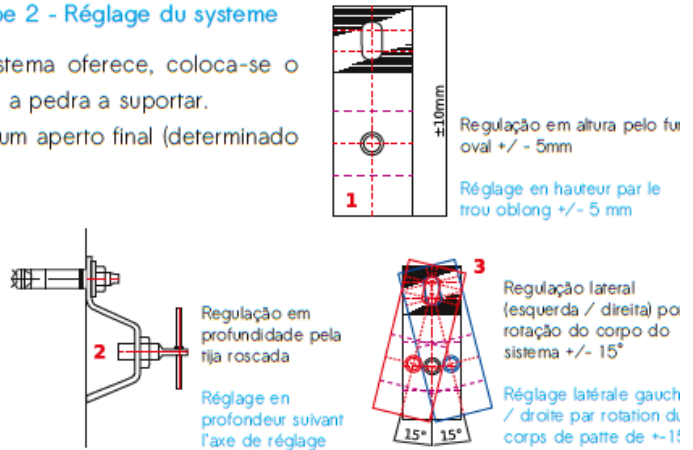
> Etapa 2 - Regulação da Pata .. Etape 2 - Réglage du systeme

Com o auxílio dos ajustes que este sistema oferece, coloca-se o perno na sua posição nominal e encaixa-se a pedra a suportar.

Com uma chave dynamométrica, é feito um aperto final (determinado pelo fabricante) da bucha segmentada.

En jouant sur les réglages que offre le procédé, on place l'axe de dans sa position nominale pour recevoir la pierre dans le trou pratiqué sur son chant.

Avec une clé dynamométrique, on effectue un serrage définitif de la cheville au couple.



> Etapa 3 - Colocação da peça .. Etape 3 - Mise en place de la dalle

A peça é colocada de forma a estar suportada pelo sistema de fixação correspondente. É efectuado um primeiro ajuste de forma a peça estar na sua posição final.

De seguida é efectuado um último aperto da porca da bucha segmentada de fixação para compensar um eventual desaperto devido a operações de ajuste das juntas verticais e horizontais. A possível deslocação devido ao peso, é suportada por 2 patas mecânicas chamadas de «suporte» que são colocadas na parte inferior da pedra.

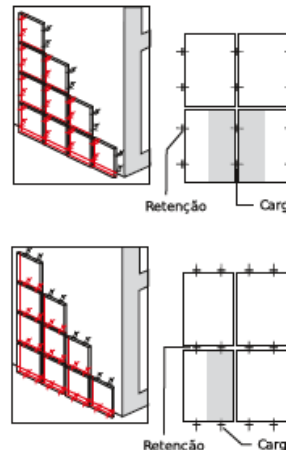
As outras patas chamadas de retenção impedem o desaperto. Admite-se que o esforço do vento seja suportado pelas 4 patas mecânicas.

On met en place la dalle de telle sorte qu'elle soit réellement portée par les pattes EUROPOFIX porteuses qui l'intéresse. On procède à un réglage fin de telle sorte que la dalle occupe sa position définitive.

Um dernier serrage de l'écrou de la cheville au couple est effectué pour compenser le desserrage éventuel consécutif aux opérations de réglage.

Dans le cas où les pattes sont symétriques, les actions verticales de poids des plaques sont reprises par les attaches «porteuses» placées en partie inférieure.

Les autres attaches, dites de retenue, empêchent le déversement. On admet que l'effort au vent sur la plaque est repris par les 4 attaches.



SISTEMAS DE FIXAÇÃO EM INOX //////////////////////////////////

/// PATA MECÂNICA PR PATTE MÉCANIQUES PR ///

> EUROPOFIX PR .. EUROPOFIX PR

Patas de fixação para pequenas e medias cargas.

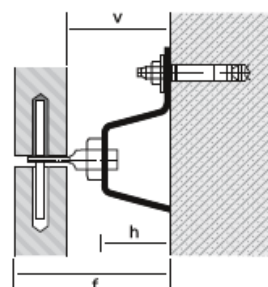
Secção 30x3mm, Tija roscada, porca cravada, perno com batente e camisa plástica.

Material: Inox 304 ou 316, sob encomenda.

Procédé de fixation pour charges légères et moyennes.

Section 30x3 mm, écrou serti, ergot à collerette, manchon PVC.

Matiere: Inox 304 ou 316, sur comande.



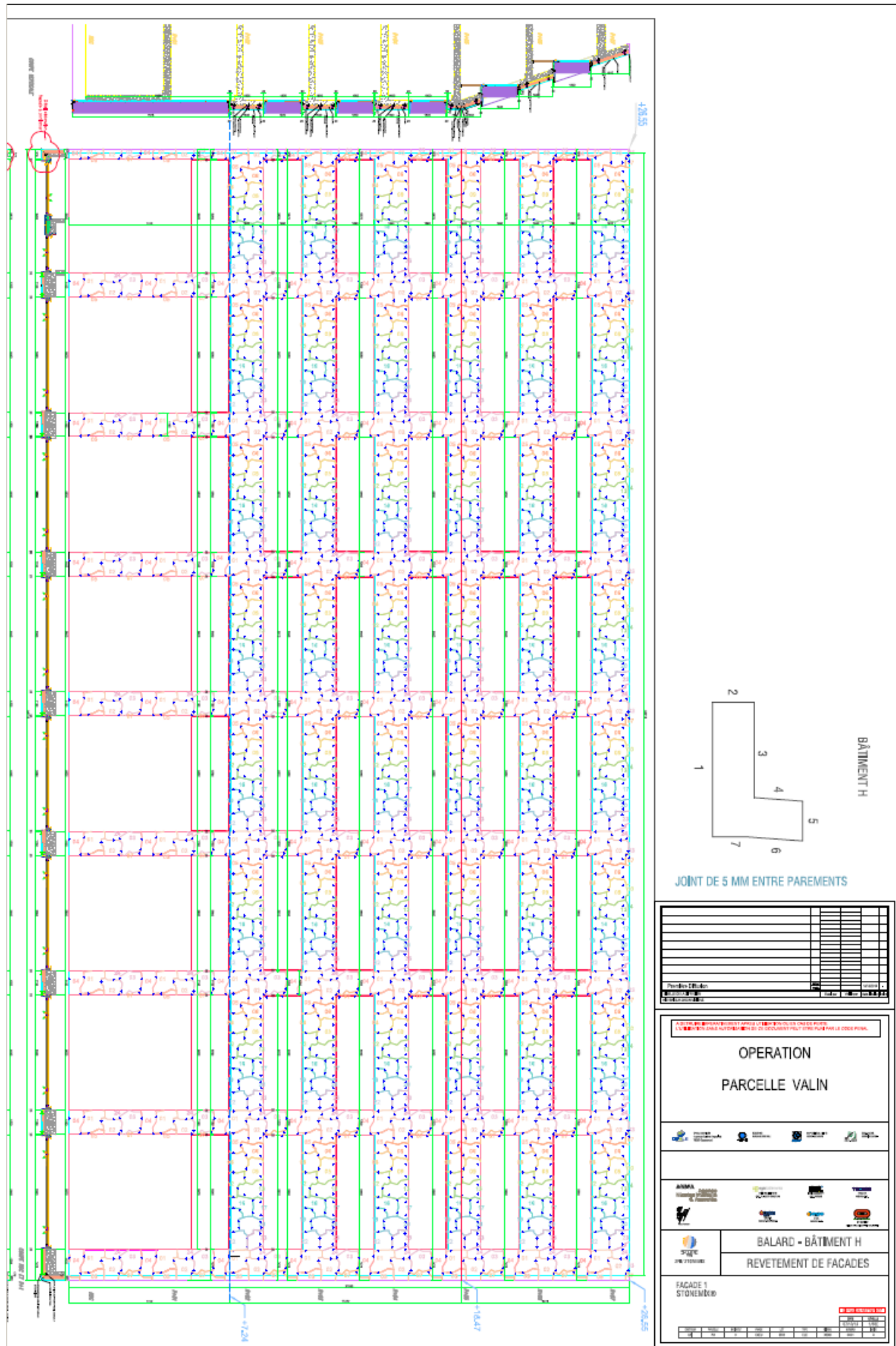
Designação / Désignation	Refer.	Dados técnicos / Donnés techniques									
		Luz min Vide min V (mm)	Luz max Vide max V (mm)	Afastamento Nu F (mm)		Altura Hauteur h (mm)	Largura Largeur (mm)	Carga Charge Kg.	Diam. perno Diam. ergot Ø (mm)	Perno roscado Axe réglable M (mm)	Bucha Chev. (mm)
				Min.	Max.						
PR 00		15	25	45	55	3	40	45	5	M10x50	M8
PR 10		25	35	55	65	10	30	53	5	M10x50	M8
PR 15		30	40	60	70	15	30	73			
PR 20		35	45	65	75	20	30	72			
PR 30		45	55	75	85	30	30	71			
PR 40		55	75	85	105	40	30	45	5	M10x60	M8
PR 50		65	85	95	125	50	30	44			
PR 60		75	95	105	135	60	30	36			
PR 70		85	110	115	145	70	30	30	5	M10x70	M8
PR 80		95	120	125	155	80	30	29			
PR 90		105	130	135	165	90	30	27			
PR 100		115	140	145	175	100	30	26			
PR 110		125	150	155	185	110	30	25			
PR 120	X	135	160	165	195	120	30	25			
PR 130	X	145	170	175	205	130	30	24			
PR 140	X	155	180	185	125	140	30	24			

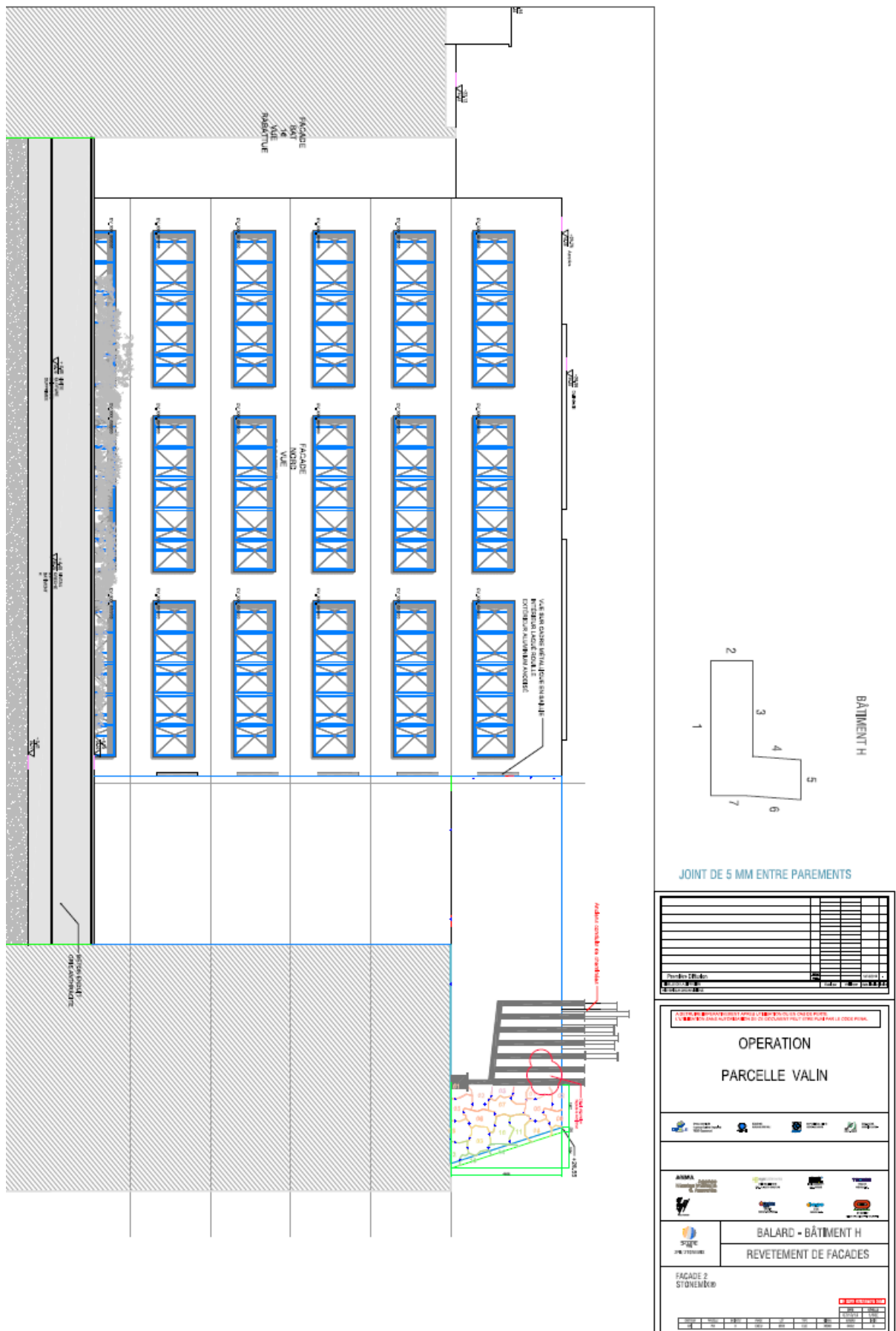
As cargas admissíveis foram atribuídas com base nos ensaios No 2009/6000866 realizados pelo CATIM.

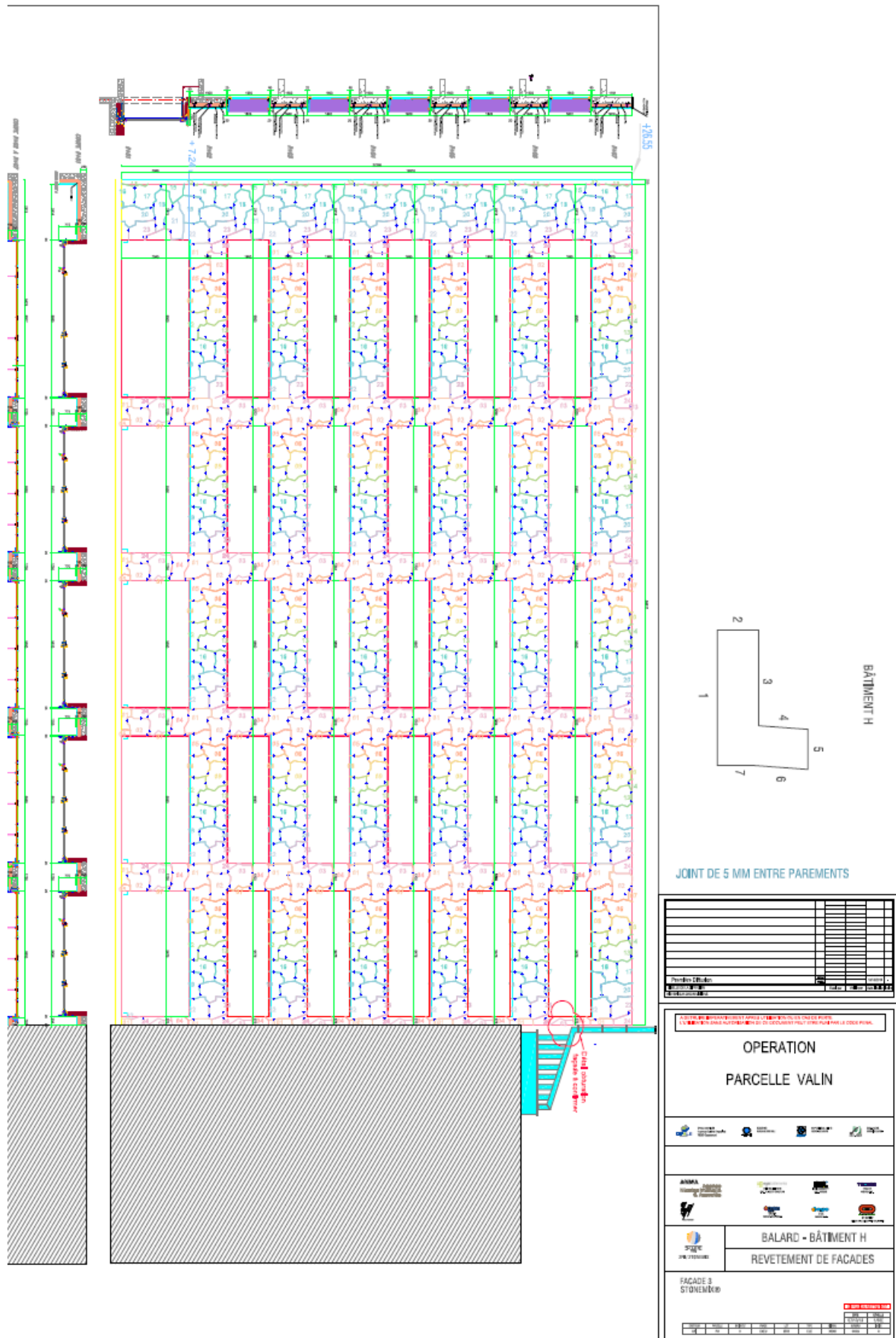
Les essais des charges admissibles ont été attribués sous le No 2009/6000866 réalisée par le laboratoires du CATIM.

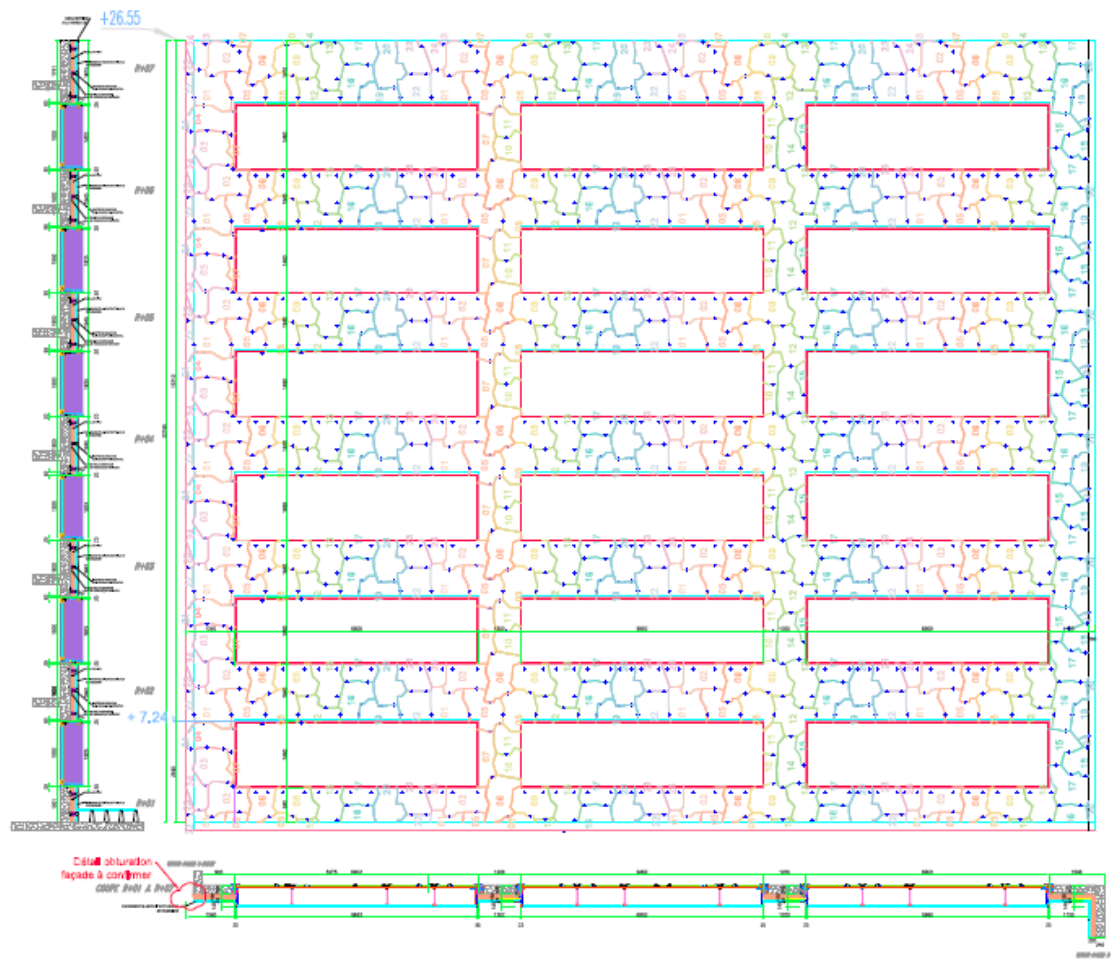
ANEXO C

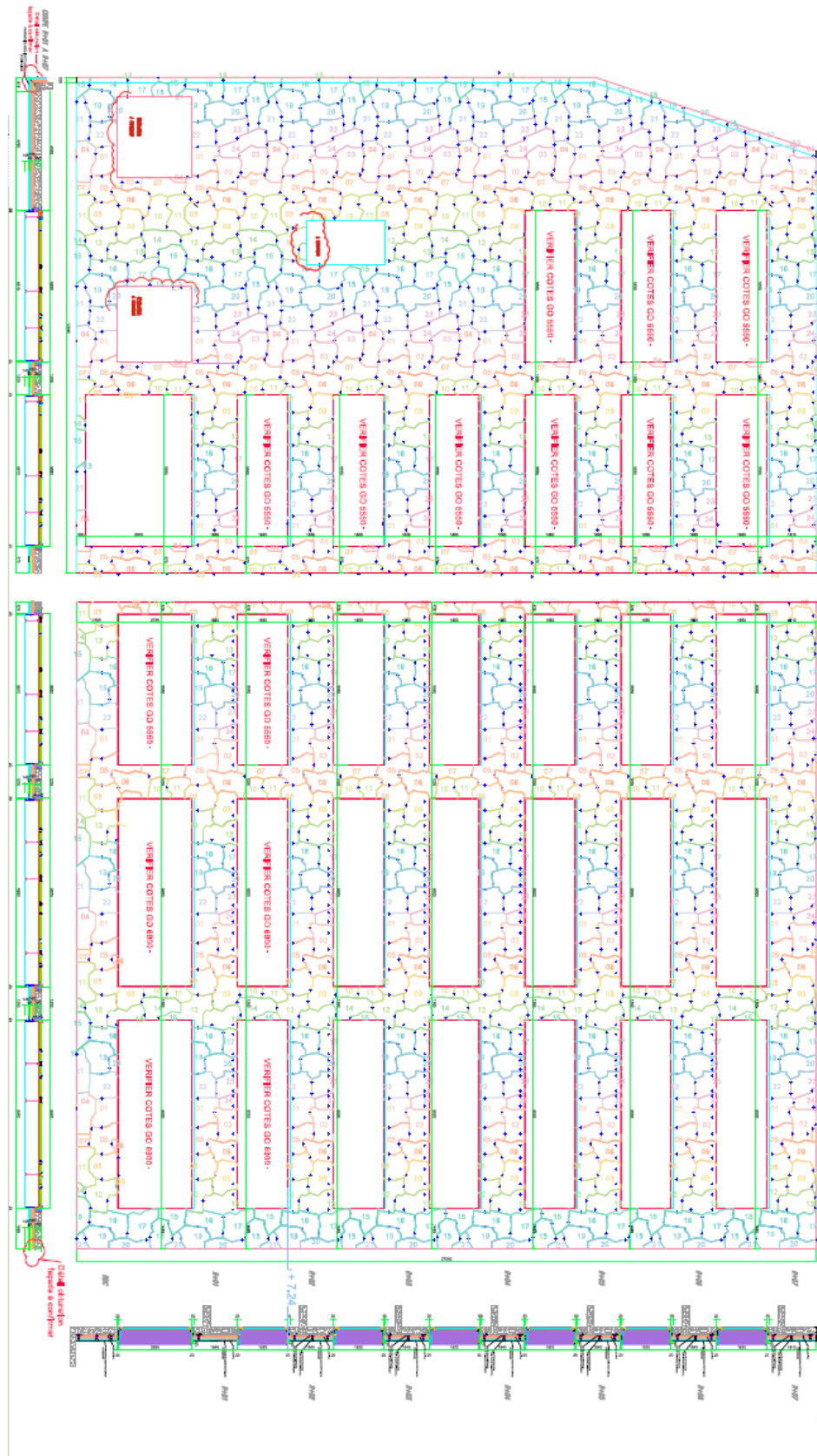
Arquitetura das fachadas – Balard





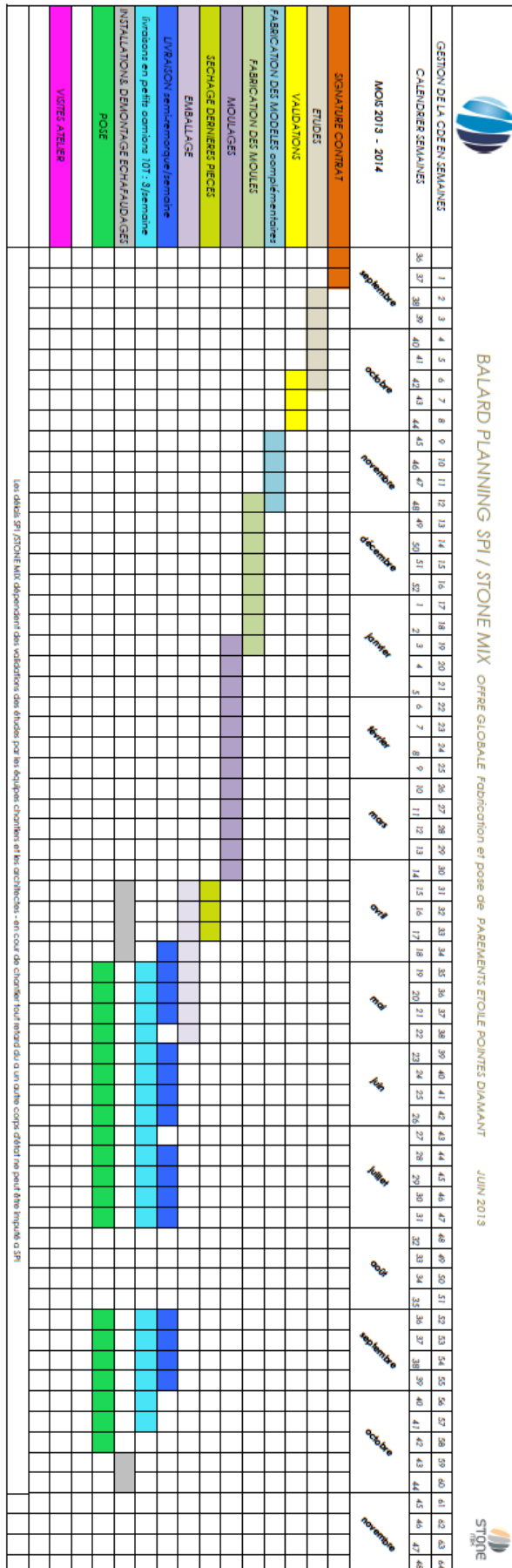






ANEXO D

Planeamento da obra – Balard



ANEXO E

Dossier de ensaios de resistência aos choques - Petramix

Junho 2015

Ensaaios de resistência aos choques - Petramix

Responsável

Arlindo Sousa/ José Costa

Empresa

STONEMIX, S.A.



ENSAIO REQUISITADO: Ensaaios de resistência aos Choques.

TIPO DE MATERIAL: Painéis de revestimento pré-fabricados em argamassa de cimento reforçada com fibras (semelhante: GRC).

DENOMINAÇÃO COMERCIAL DO MATERIAL: Petramix.

FABRICANTE: Stonemix S.A.

TIPO DE ENSAIOS: Resistência ao impacto de corpos moles (ISO 7892), avaliação conforme os critérios da norma francesa NF P 08-302 (CPT 3546).

DESCRIÇÃO: Pretende-se a realização de ensaios ao choque de corpo mole (3 e 50kg) para obtenção da classificação Q4 da norma NF P 08-302. Como tal, é necessário avaliar a resistência a um impacto de 60 J para corpo de 3kg e 400 J para corpo de 50kg. Os painéis não deverão apresentar deterioração.

CARATERÍSTICAS DO MATERIAL: Os painéis são fabricados em Petramix, um material composto por argamassa de cimento, agregados, fibras de vidro e água.

CARATERÍSTICAS DOS PAINÉIS: Os quatro painéis a ensaiar possuem as dimensões de 80x60 cm² com espessura entre 40 e 45 mm e superfície lisa. Foram fabricados há mais de 28 dias considerando-se a sua cura completa.

FIXAÇÃO DOS PAINÉIS: Os painéis devem ser fixados por 4 patas mecânicas cada um, conforme as imagens abaixo. Junta-se em anexo o guia de instalação elaborado pelo fabricante do sistema de fixação.

Tel 351-258-770087

Rua da Barrosa, 1930
4905-093 Fragoso - Barcelos
PORTUGAL

Email
sousa@stone-mix.net
jose@stone-mix.net



Página 1 de 4



Figura 1 - Pata mecânica de fixação

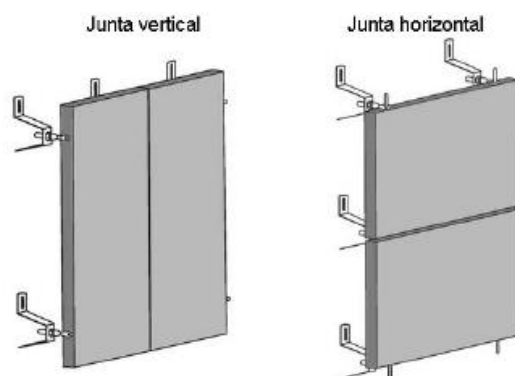


Figura 2 - Fixação dos painéis

Tel 351-258-770087

Rua da Barrosa, 1930
4905-093 Fragoso - Barcelos
PORTUGAL

Email
sousa@stone-mix.net
jose@stone-mix.net



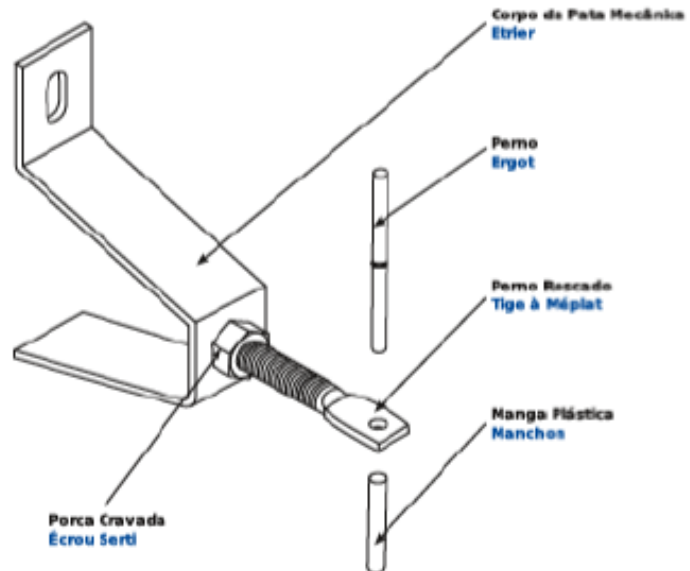
Página 2 de 4

Anexo

> PRINCÍPIO .. PRINCIPE

A gama de patas mecânicas da EUROPOFIX permite uma fácil regulação em profundidade da distância entre parede suporte / eixo fixador. Essa regulação é conseguida através de uma porca rebite que está cravada no corpo da pata mecânica, que vai fazer rodar o perno roscado (através de uma chave de boca), afastando ou aproximando a pedra a colocar.

Les systèmes EUROPOFIX permettent un réglage en profondeur de la distance mur support - axe ergot. Ce réglage est obtenu au moyen d'un écrou à épaulement certi qui, serti sur le corps de la fixation, transforme sa rotation effectuée au moyen d'une clé plate en translation de la tige filetée.



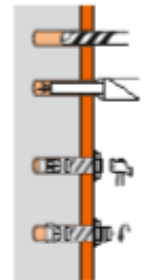
> INSTALAÇÃO .. MISE EN OEUVRE

> Etapa 1 - Colocação da bucha segmentada de fixação

Etape 1 - Mise en place de la cheville de fixation

Com o auxílio de uma broca é feito um furo com o diâmetro da bucha segmentada, o furo deve ser feito com as mesmas características da bucha de modo a permitir a sua penetração. Após a limpeza do furo (soprando o furo com um compressor), a bucha é introduzida com a ajuda de um martelo (caso necessário). Depois de ter colocado a pata mecânica adequada à configuração necessária, a porca é apertada à mão até ao seu ponto máximo.

On perce, au moyen d'un foret monté sur un perforateur, un trou du diamètre adapté à la cheville de fixation. Le trou doit permettre un enfoncement répondant au caractère de la cheville. On nettoie le trou par soufflage au moyen d'une pompe. La cheville est introduit dans le trou et on l'enforce, (si nécessaire), à l'aide d'un marteau. Après avoir mis en place le système EUROPOFIX adaptée à la configuration, On place la rondelle et on amorce le vissage de l'écrou en serrant à fond à la main.





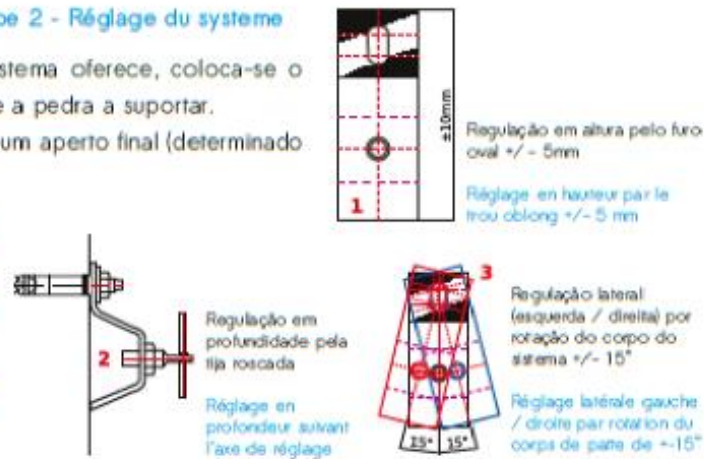
> Etapa 2 - Regulação da Pata .. Etape 2 - Réglage du système

Com o auxílio dos ajustes que este sistema oferece, coloca-se o perno na sua posição nominal e encaixa-se a pedra a suportar.

Com uma chave dynamométrica, é feito um aperto final (determinado pelo fabricante) da bucha segmentada.

En jouant sur les réglages que offre le procédé, on place l'axe de dans sa position nominale pour recevoir la pierre dans le trou pratiqué sur son chant.

Avec une clé dynamométrique, on effectue un serrage définitif de la cheville au couple.



> Etapa 3 - Colocação da peça .. Etape 3 - Mise en place de la dalle

A peça é colocada de forma a estar suportada pelo sistema de fixação correspondente. É efectuado um primeiro ajuste de forma a peça estar na sua posição final.

De seguida é efectuado um último aperto da porca da bucha segmentada de fixação para compensar um eventual desaperto devido a operações de ajuste das juntas verticais e horizontais. A possível deslocação devido ao peso, é suportada por 2 patas mecânicas chamadas de «suporte» que são colocadas na parte inferior da pedra.

As outras patas chamadas de retenção impedem o desaperto. Admite-se que o esforço do vento seja suportado pelas 4 patas mecânicas.

On met en place la dalle de telle sorte qu'elle soit réellement portée par les parties EUROPOFIX porteuses qui l'intéresse. On procède à un réglage fin de telle sorte que la dalle occupe sa position définitive.

Um dernier serrage de l'écrou de la cheville au couple est effectué pour compenser le desserrage éventuel consécutif aux opérations de réglage.

Dans le cas où les pattes sont symétriques, les actions verticales de poids des plaques sont reprises par 2 attaches «porteuses» placées en partie inférieure.

Les autres attaches, dites de retenue, empêchent le déversement. On admet que l'effort au vent sur la laque est repris par les 4 attaches.

